

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Diplomová práce

Rok 2017

Bc. Ondřej ADAM

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Optimalizace mřížové sítě

Optimization of grid network

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Adam**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Optimalizace mřížové sítě
Optimization of grid network
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Teoretický rozbor sítí nn a vn.
- o Provozování distribuční soustavy.
- o Popis mřížové sítě v konkrétní oblasti.
- o Analýza měření.
- o Návrh optimalizace provozu.
- o Závěr.


Seznam doporučené odborné literatury:

- o Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, skripta VŠB-TU Ostrava 2008
- o Krejčí P.: Cvičení z elektroenergetiky, skripta VŠB-TU Ostrava 2003
- o Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, VŠB Ostrava 1993
- o Toman, P. a kol.: Provoz distribučních soustav, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04935-8
- o Tlustý, J. a kol.: Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04940-2
- o Tlustý, J. a kol.: Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí, ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04939-6
- o Další podle pokynů vedoucího práce


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015
Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Šumperku 28. května 2017



.....
podpis

Souhlas se zveřejněním diplomové práce:

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Šumperku 20. května 2017



.....
podpis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radomír Goňovi, Ph.D. za ochotné vedení práce, cenné rady, připomínky a odbornou pomoc, které mi poskytl v průběhu jejího řešení. Dále bych chtěl poděkovat kolegům z oboru Františkovy Ženožičkovi a Jiřímu Ondráčkovi za praktické rady a pomoc při vlastním měření.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na zmapování mřížové sítě v konkrétní oblasti a návrh provozních opatření pro optimalizaci jejího provozu. Úvodní část je věnována popisu elektrizační soustavy České republiky a rozlišení jednotlivých druhů sítí, z větší části jsou porovnávány rozdíly mezi zjednodušenou a klasickou mřížovou sítí.

Dále jsou uvedeny standardy elektrické energie a konkrétní postupy při údržbě a provozu. V práci je popsána konkrétní lokalita, ve které bylo prováděno vlastní měření vzorku sítě a metoda posuzování kvality elektrické energie na konkrétních naměřených hodnotách.

Výsledkem práce je kompletní vyhodnocení naměřených dat při změnách provozních stavů v síti a posouzení vlivu na konečného odběratele, doplněné o měření impedancí v rozpojovacích skříních.

V závěrečné části jsou navržena opatření a postupy pro optimalizaci provozu.

Klíčová slova:

mřížová síť, kvalita elektrické energie, směrová ochrana mřížových sítí, kabelové vedení, řád preventivní údržby, přenosová soustava, distribuční soustava

Abstract

My thesis is focused on mapping of the mesh network in the specific area and on the design of operation precaution for the optimization of operation. The introductory part is devoted to the description of electrified system in the Czech Republic and the division of specific network. The differences between the simplified and classic network are compared.

Besides there are introduced the standards of electrical energy and the specific procedures by the maintenance and operation. In my thesis the particular area is described, where there the sample of network was measured. The method of quality assessment of electrical energy on the definite measured figures is also described.

The outcome of the thesis is complete evaluation of measured data by the change of operation condition in the network and the assessment of the influence on the specific customer. There is also the measurement of impedance in the disengaged case.

In the final part there are precautions and the procedure for the optimization of the operation.

Key words:

mesh network, quality of electrical energy, directional protection of bar network, cable line, rules of precautionary maintenance, transfer system, distribution system

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek.....	10
1. Úvod	11
2. Teoretický rozbor sítí vn a nn	12
2.1. Elektrizační soustava	12
2.1.1. Přenosová (nadřazená) soustava.....	12
2.1.2. Distribuční soustava	12
2.2. Rozdělení sítí dle zapojení	13
2.2.1. Sítě paprskové	13
2.2.2. Sítě okružní	13
2.2.3. Zjednodušená mřížová síť	15
2.2.4. Klasická mřížová síť	15
3. Provozování distribuční soustavy	18
3.1. Standardy distribuce elektrické energie.....	18
3.1.1. Neplánovaná přerušení.....	18
3.1.2. Plánovaná přerušení	19
3.1.3. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie.....	19
3.2. Řád preventivní údržby	22
3.2.1. Údržba distribučních trafostanic	23
3.3. Poruchové stavy.....	25
4. Popis mřížové sítě v konkrétní oblasti	27
4.1. Mřížová síť Šumperk	27
4.2. Popis měřené lokality	28
5. Analýza měření.....	29
5.1. Použité měřicí přístroje	29
5.2. Posouzení naměřených dat a kvality dodávané elektrické energie.....	31
5.2.1. Kmitočet sítě	31
5.2.2. Velikost napájecího napětí a jeho odchylky	33
5.2.3. Rychlé změny napětí a míra vjemu flikru	34
5.2.4. Nesymetrie napájecího napětí	36

5.2.5.	Harmonická a mezipharmonická napětí, úrovně napětí signálů HDO v síti	38
5.2.6.	Poklesy a zvýšení napětí	42
5.2.7.	Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí.....	44
5.3.	Celkové vyhodnocení naměřených dat	45
5.3.1.	Týdenní měření – při změnách provozních stavů.....	45
5.3.2.	Měření impedance s umělou zátěží	49
6.	Návrh optimalizace provozu.....	51
6.1.	Kontrola opětovného zapnutí hlavního jističe v DTS	51
6.2.	Kontrola funkčnosti směrové ochrany mřížových sítí	52
7.	Závěr.....	53
	Použitá literatura	55
	Seznam příloh.....	57

Seznam použitých značek a symbolů

U	[V]	Elektrické napětí
U _n	[V]	Jmenovité napětí
U _{ef}	[V]	Efektivní hodnota napětí
U _s	[V]	Sdružené hodnoty napětí
I	[A]	Elektrický proud
I _s	[A]	Sdružené hodnoty proudů
R	[Ω]	Elektrický odpor
Z	[Ω]	Impedance
P	[W]	Elektrický výkon
Q	[var]	Jalový výkon
S	[VA]	Zdánlivý výkon
T	[s]	Perioda
U _{harm}	[%]	Harmonické napětí
U _{ef}	[V]	Efektivní napětí
P _{st}	[-]	Krátkodobá míra vjemu flikru
P _{lt}	[-]	Dlouhodobá míra vjemu flikru
THD	[%]	Celkové harmonické zkreslení
f	[Hz]	Frekvence
cos φ	[-]	Účinník

nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
zvn	Zvlášť vysoké napětí
ŘPÚ	Řád preventivní údržby
DTS	Distribuční trafostanice
MŽ	Mřížová síť
ZMŽ	Zjednodušená mřížová síť
ČSN	Česká technická norma
PNE	Podniková norma energetiky
HDO	Hromadné dálkové ovládání
PS	Přenosová sousta
DS	Distribuční soustava
MPBP	Místní pracovní a bezpečnostní předpis

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma přenosové soustavy [7]	12
Obr. 2 - Územní schéma distribuční soustavy [8]	13
Obr. 3 - Schéma paprskové sítě	13
Obr. 4 - Schéma okružní sítě	14
Obr. 5 - Schéma zjednodušené mřížové sítě	15
Obr. 6 - Schéma klasické mřížové sítě s třemi napaječi VN	16
Obr. 7 - Schéma vnějšího zapojení směrové ochrany VS 300X [9]	16
Obr. 8 - Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce a přenosu el. energie [21]	22
Obr. 9 - Zkratování vývodu v DTS	24
Obr. 10 - Počet vn poruch a celková doba do obnovení napájení	26
Obr. 11 - Schéma vn MŽ Šumperk	27
Obr. 12 - Rozmístění měřících souprav	28
Obr. 13 - Týdenní diagram 100% času frekvence SU_0510 (MŽ normální provoz)	32
Obr. 14 - Dovolené odchylky napájecího napětí nn	33
Obr. 15 - Týdenní diagram 100% času napětí v R321 (MŽ ostrovní provoz)	34
Obr. 16 - Křivka stejné míry vjemu Pst pro pravoúhlé změny U v rozvodných sítích nn [12]	35
Obr. 17 - Týdenní diagram času krátkodobého vjemu flikru v R321 (MŽ ostrovní provoz)	36
Obr. 18 - Týdenní diagram nesymetrie v SU_0531 (vyp. hl. jistič v SU_0510)	38
Obr. 19 - Týdenní diagram celk. harm. zkreslení napětí v SU_0541 (vyp. hl.jistič v SU_0510)	40
Obr. 20 - Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech Un ve veřejných distribučních sítích	41
Obr. 21 - Týdenní diagram HDO 217 Hz (R81 sm. R84 – paprsek)	42
Obr. 22 - Časový průběh měření imp. zátěží R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)	42
Obr. 23 - IEEE 446 křivka R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)	44
Obr. 24 - Změna toků výkonu v R372 směr R322	45
Obr. 25 - Diagram napětí vn a Pst - R372 směr: R322	46
Obr. 26 - Činné výkony v měřených DTS	46
Obr. 27 - Maxima proudů v DTS	47
Obr. 28 - Hodnoty Plt 100% vzorků, při různých provozních stavech v rozpojovacích skříních	47
Obr. 29 - Maximální hodnoty nesymetrie v DTS	48
Obr. 30 - Vytíženost transformátorů při změnách provozních stavů	48
Obr. 31 - Ovládací panel hl. jističe v DTS	51
Obr. 32 - Směrová ochrana VS 300 X a VS 31	52

Seznam tabulek

Tab. 1 - Srovnání klasické a zjednodušené mřížové sítě	17
Tab. 2 - Přesnost měření a rozlišovací schopnost MEG 30 [10]	29
Tab. 3 - Přesnost měření MEG 38/C třída A (vybrané parametry) [15]	30
Tab. 4 - Jednotlivá U_{harm} v předávacím místě v procentech u_h pro řády harm. až do 25 [11]	39
Tab. 5 - Klasifikace poklesů a přechodných zvýšení napětí R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)	43
Tab. 6 - Výpis událostí R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)	43
Tab. 7 - Třídění přerušení napětí [14]	44
Tab. 8 - Naměřené hodnoty impedancí v jednotlivých skříních	49
Tab. 9 - Přepočtené hodnoty impedancí na možné úbytky napětí	50

1. Úvod

Velká část městských sítí v České republice byla původně navržena jako mřížová, ale postupem času z různých příčin jsou dnes provozovány v jiných zapojeních. Při provozování mřížové sítě jsou tu negativní hlediska jako složitější vyhledávání poruch a provádění provozních manipulací je náročnější na obsluhu. Větší nároky jsou kladeny na údržbu, kdy je nutná častější kontrola pojistek ve spojovacích skříních a DTS jsou navíc vybaveny směrovými ochranami a automaticky ovládanými prvky. Tyto provozní nároky nám můžou vynahradit výhody mřížové sítě jako vysoká spolehlivost dodávky a možnost připojování dalších odběratelů bez nutnosti budovat nové vývody s DTS. Šumperská mřížová síť byla vybudována před přibližně 25 lety a téměř v nezměněné podobě je provozována dodnes. Jedním z cílů této práce je popsat vlastní zkušenosti z jejího provozování a navrhnout vhodná provozní opatření.

V distribuční soustavě je mnoho faktorů ovlivňujících kvalitu elektrické energie. Například nelineární zařízení jsou příčinou zkreslení napájecího napětí. To znamená, že odebírají nesinusový proud při dodávce sinusového napětí. Dále současný trend rozvoje obnovitelných zdrojů elektrické energie mění způsoby výroby z centrální na decentralizovanou. Rozvoj decentralizované výroby sebou nese změny spotřeby a výroby, kdy sám odběratel si vyrábí elektrickou energii a přebytek dává do sítě. To sebou nese i změny toků výkonů a zároveň možné nežádoucí jevy jako rychlé změny napětí a flickr. Do budoucna lze očekávat nárůst spotřeby díky rozvoji elektromobilů, kdy jsou ve velkém počtu instalovány dobíjecí stanice o výkonech 20, 50 kW a je očekáván nárůst i 350 kW stanic. Dalším faktorem, který je třeba zmínit je potřeba snížení hodnot ukazatelů nepřetržitosti, jako zkrácení doby a počtu odstávek, snížení počtu poruch a celkové doby jejich odstraňování. Při změnách provozních stavů mohou nastat rychlé změny napětí a při vypnutí zařízení podpětí a další jevy.

Kvalita elektrické energie pro odběratele je předepsána normou ČSN EN 50 160. S ohledem na dodržení požadavků dané normy, bude z výše uvedených důvodů patrně nutné učinit odpovídající opatření. Což může mít do budoucna za následek vyšší nároky na distribuční síť a postupnou změnu konfigurace. V diplomové práci jsou provedena měření při změnách provozních stavů při provádění ŘPÚ a dále měření impedance se zatěžovací jednotkou. Na základě naměřených hodnot je provedeno celkové zhodnocení vlivu těchto změn na konečného odběratele a predikovány možnosti připojení dalších odběrů.

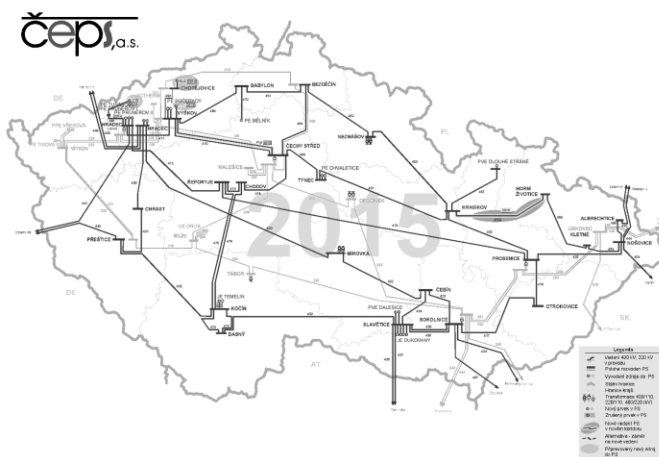
2. Teoretický rozbor sítí vn a nn

2.1. Elektrizace soustava

Elektrizační soustava je soubor prvků sloužící k výrobě a přenosu elektrické energie ke spotřebiteli, obsahující zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení. Dále zahrnuje i systémy pro měření, ochranu, řízení, zabezpečení a komunikaci. Elektrizační soustavu lze dále rozdělit na přenosovou a distribuční.

2.1.1. Přenosová (nadřazená) soustava

Provozovatelem české přenosové soustavy je firma ČEPS a.s. a jejím výhradním vlastníkem je stát. Zajišťuje provoz 41 rozvodů a 5 610 km vedení o napěťových hladinách 400, 220 kV a vybraných 110 kV. Účelem přenosové soustavy je rozvedení výkonu z velkých elektráren do celého území České republiky a napájet elektřinou distribuční soustavy, které ji dále rozvádějí až ke konečným spotřebitelům. Přeshraničním vedením je přenosová soustava ČR napojena na soustavy všech sousedních států, a tím synchronně spolupracuje s celou elektroenergetickou soustavou kontinentální Evropy. Na napěťové hladině 400 a 220 kV je tvořena okružním rozvodem.



Obr. 1 - Schéma přenosové soustavy [7]

2.1.2. Distribuční soustava

Hlavní páteř distribuční soustavy tvoří vedení o napěťové hladině 110 kV a nejčastěji je konstruováno jako dvojité, tvořící okružní rozvod. Toto vedení zajišťuje dodávku elektrické energie z transformoven zvn a vvn do transformoven vvn/vn, kde se převádí na hladinu 22 kV a dále pomocí distribučních trafostanic na napětí 0,4 kV. V některých regionech je v menší míře provozováno vedení o napěťových hladinách 35, 10, 6 a 3 kV, např. centrum města Krnov je napájeno z rozvodny 22/6 kV okružním rozvodem do trafostanic 6/0,4 kV. Na obrázku č. 2 je vyznačeno území hlavních provozovatelů distribuční soustavy.

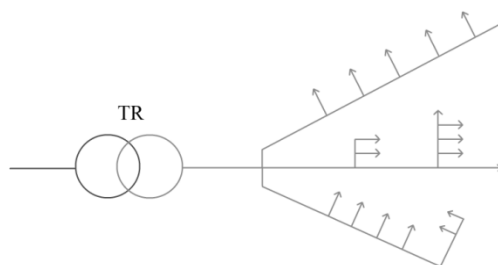


Obr. 2 - Územní schéma distribuční soustavy [8]

2.2. Rozdělení sítí dle zapojení

2.2.1. Sítě paprskové

Každý paprsek sítě vychází z transformovny jednotlivě a není možné je jakkoli spojovat. Tento typ rozvodu se používá především v oblastech, kde není nutná velká spolehlivost dodávky elektrické energie. Poruchové stavy je nutné řešit okamžitou opravou, pokud se jedná o rozsáhlejší poruchu, kterou nelze odstranit u zařízení vn do 12 hodin a nn do 18 hodin a zákazník trvá na obnovení dodávky, je nutné zajistit náhradní zásobování například dieselovými agregáty. Z těchto důvodů se paprskové sítě nízkého napětí používají spíše ve venkovských obcích, malých městech a v průmyslu, kde není nutná velká spolehlivost dodávky elektrické energie. Na koncích paprskových vedení se vyskytuje značné kolísání a velký úbytek napětí i výkonové ztráty.

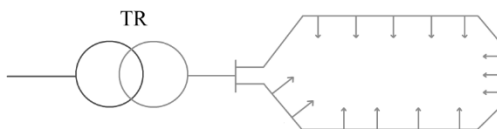


Obr. 3 - Schéma paprskové sítě

2.2.2. Sítě okružní

Oproti paprskové síti má okružní síť oba konce vedení připojeny na totéž napájecí místo. Hlavní výhodou tohoto zapojení je možnost napájet každý odběr ze dvou stran a tím zajistit spolehlivější dodávku elektrické energie. Z důvodu snadnějšího vyhledávání poruch, jsou tyto sítě často provozovány jako paprskové. Při lokalizaci poruchy lze postižené místo přepojit, nebo zmanipulovat a provozovat z nepoškozené části vedení. Při stálém zapojení do kruhu vykazují menší kolísání napětí v odběrných místech, mají menší průřezy a složitější ochrany než sítě paprskové. Při

výstavbě je nutné počítat s vyšší finanční náročností. Tento způsob rozvodu se používá především k napájení větších vesnic a měst pro nízké, ale i vysoké napětí.



Obr. 4 - Schéma okružní sítě

Za předpokladu rovnoměrně zatíženého paprsku lze napěťové a výkonové poměry u vedení stejných délek vyjádřit:

$$\Delta u = \int_0^R (2I_0 - ri)^2 dr = 4I_0^2 R \quad (2.1)$$

kde $i = 2I_0 / R$ a při konstantním průřezu je délka vedení l úměrná odporu r

$$\Delta P = 3 \int_0^R (2I_0 - ri)^2 dr = 4I_0^2 R \quad (2.2)$$

Vedení napájené ze dvou stran (okružní vedení)

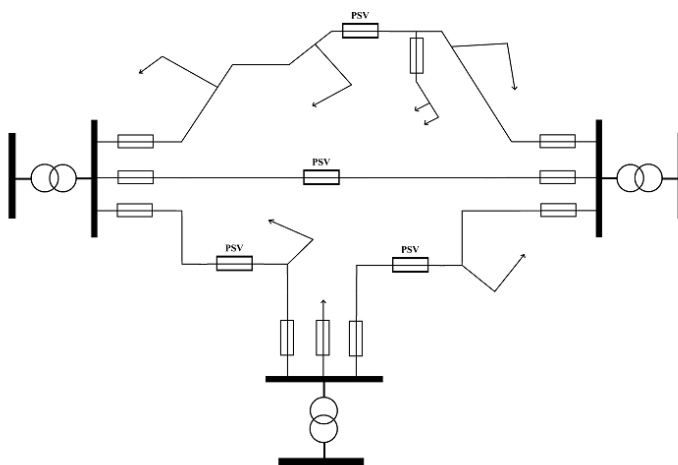
$$\Delta u = \int_0^{R/2} (I_0 - ri) dr = \frac{1}{4} I_0 R \quad (2.3)$$

$$\Delta P = 3.2 \int_0^{R/2} (I_0 - ri)^2 dr = I_0^2 R \quad (2.4)$$

Z výsledků jsou patrné výhody okružní sítě, což znamená snížení úbytku napětí a ztrát na čtvrtinu. [6]

2.2.3. Zjednodušená mřížová síť

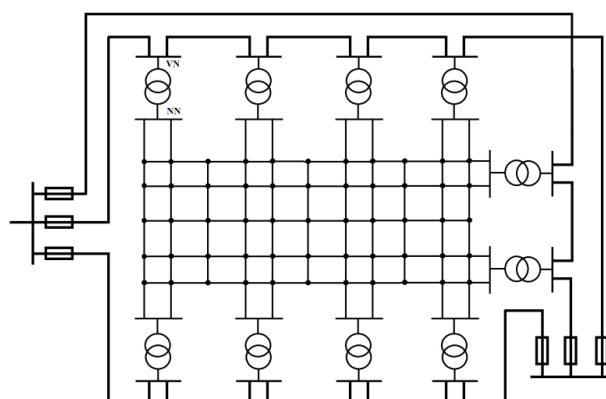
Hlavní myšlenkou je paralelní chod transformátorů. Mezi distribučními trafostanicemi jsou vytvořena hlavní (magistrální) vedení shodných průřezů, která napájí rozvaděče nn. Na vhodných místech jsou tato vedení rozdělena pojistkami slabé vazby tzv. PSV. Pojistky slabé vazby by měli být umístěny především v místech, kde neprotéká téměř žádný nebo nulový proud a podle provozních zkušeností by jejich poměr k hlavním pojistkám měl být 2:1. Podmínky umístění PSV v místě, kde protéká nulový proud lze dosáhnout pouze v jeden časový okamžik, protože ve skutečnosti i tímto místem proud protéká, ale jeho poměr je ke jmenovité hodnotě pojistky malý. Při poruchovém stavu nejdříve zareagují PSV a poté pojistky v příslušné trafostanici, ostatní části vedení zůstávají v provozu. Zjednodušená mřížová síť klade vyšší nároky na provoz, protože je nutné kontrolovat stav pojistek. Nejčastěji jsou tato vedení napájena jedním napáječem vn. [1]



Obr. 5 - Schéma zjednodušené mřížové sítě

2.2.4. Klasická mřížová síť

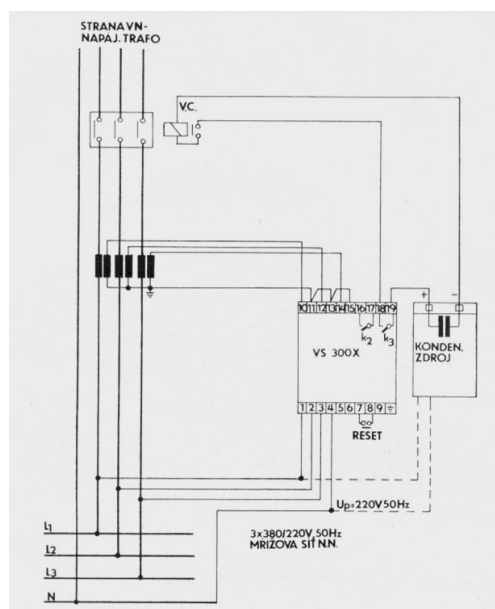
Klasické mřížové sítě se zpravidla používají ve větších městech s potřebnou měrnou hustotou $\sigma = 1 \text{ MW.km}^2$ a více, kde je několik transformoven napájených nejméně dvěma, lépe třemi až pěti napáječi vn. Síť z dvěma napáječi vn je labilní. Kabelové vedení nn se spojí na křižovatkách ulic do uzlu. Jsou to skříně s pojistkami zazděné na vhodných místech v domovních zdech nebo umístěné do samostatných pilířů. Pojistky nn mají mít pomalou charakteristiku a ve všech skříních stejnou jmenovitou hodnotu. Nastane-li porucha v úseku sítě nn mezi dvěma skříněmi, rozdělí se zkratový proud na polovinu, tedy $1/2 I_k$. Pojistky se na porušeném vývodu přetaví za kratší čas, a to tak rychle, že ostatní pojistky zůstanou neporušeny. Vyřadí se tak z provozu pouze porušený úsek. V klasické mřížové síti je vyšší spolehlivost zásobování odběratelů při poruše některého napáječe vn než v ostatních typech sítí. [1][4]



Obr. 6 - Schéma klasické mřížové sítě s třemi napáječi VN

Směrová ochrana mřížových sítí

Nastane-li porucha na napáječi vn, teče zkratový proud do místa zkratu nejen z místa napájení, ale i ze strany sítě nn. Aby se zabránilo zpětnému toku proudu, jsou transformátory ve stanicích ze strany vysokého napětí jištěny pojistkami vn a ze strany nn vybaveny jističem se směrovou ochranou, která zabráňuje napájení místa poruchy ze strany nn nepoškozeného vedení. Jako příklad lze uvést směrovou ochranu VS 300 X na obrázku č. 7.



Obr. 7 - Schéma vnějšího zapojení směrové ochrany VS 300X [9]

Tab. 1 - Srovnání klasické a zjednodušené mřížové sítě

Klasická mřížová síť	Zjednodušená mřížová síť
Napájení vn	
má nejčastěji 3 až 4 napáječe vn, transformátory jsou rovnoměrně rozdělené, z pravidla stejných výkonů	obvykle 1 napáječ vn
Porucha na napáječi vn	
vyhodnocení je zajištěno ochranami na rozvodně, dále směrovou ochranou odpojující hl. jistič, funkci napájení přeberou transformátory napojené na neporušené napáječe	použití směrové ochrany je zbytečné, při poruše ochrany na rozvodně odpojí celý napáječ, což znamená přerušení dodávky elektrické energie v celé síti
Složení sítě nn	
většinou kabelová síť jednotného průřezu, možné je i použití různých průřezů	obvykle venkovní vedení, magistrály by měli být shodného průřezu, odbočky libovolně
Uspořádání sítě nn	
kabelová síť tvoří obvykle mříž (rastr)	vzájemné napájení zajišťují nn rozvaděče v trafostanicích, paralelní chod transformátorů
Porucha na straně nn	
je jištěna výkonovými pojistkami stejné charakteristiky a jmenovité hodnoty	je jištěna výkonovými pojistkami na začátku magistralního vedení (v trafostanicích) a pojistkami slabé vazby v místech magistrály kde neprotéká teoreticky žádný proud
Ekonomické použití	
dle praktických zkušeností, závisí na hustotě odběru $\sigma = 1 \text{ MW} \cdot \text{km}^2$	vhodné i pro malé hustoty odběru, vyskytující se i v malých městech, s výskytem alespoň dvou trafostanic

3. Provozování distribuční soustavy

Jednotlivé energetické subjekty, které podnikají v distribuci elektrické energie vytváří Pravidla provozování distribuční soustavy, která předkládají ke schválení Energetickému regulačnímu úřadu. Pravidla provozování distribuční soustavy vymezují zásady a postupy, kterými se řídí vztahy mezi provozovatelem DS a všemi uživateli DS. Legislativně doplňují Energetický zákon a vyhlášky související. PPDS se vyvíjejí podle požadavků praxe a technických trendů. Každý výtisk PPDS obsahuje znění platné k datu jeho vydání [20].

3.1. Standardy distribuce elektrické energie

Standardy distribuce el. energie jsou definovány vyhláškou č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, v platném znění. V této vyhlášce jsou stanoveny požadavky na kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, postupy a lhůty pro uplatnění nároku na náhrady. Postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb jsou ve vyhlášce uvedeny v příloze č. 5. [23]

3.1.1. Neplánovaná přerušení

Jsou přerušení zpravidla vyvolána poruchovými stavy v síti. Lhůty pro odstranění přerušení distribuce elektřiny v odběrném, nebo předávacím místě provozovatele lokální distribuční soustavy a zákazníka jsou stanoveny následovně:

- 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV a 12 hodin v síti distribuční soustavy na území hlavního města Prahy.
- 12 hodin v sítích distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV a 8 hodin v síti distribuční soustavy na území hlavního města Prahy.
- 6 hodin na výměnu poškozené pojistky v hlavní domovní pojistkové skříni zákazníka a 4 hodiny na území hlavního města Prahy.
- 48 hodin ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny z výroby elektřiny připojené do přenosové nebo distribuční soustavy.

Lhůta je započata okamžikem kdy se provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení distribuce elektřiny, nebo kdy vznik přerušení distribuce elektřiny mohl a měl zjistit. Jestliže dojde u zákazníka ke vzniku několika dlouhodobých přerušení distribuce elektřiny vzniklých v důsledku téže události, počítá se čas od vzniku první události až po poslední přerušení dodávky mimo nutné manipulace do původního provozního uspořádání.

Za nedodržení standardu výměny poškozené pojistky se nepovažuje výměna poškozené pojistky a obnova distribuce el. energie, pokud se prokazatelně jedná o přerušení distribuce elektřiny v důsledku poškození pojistky způsobené elektrickým zařízením zákazníka nebo elektrickou přípojkou, která není ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a není ani provozovatelem distribuční soustavy provozována. Dále za nedodržení standardu se nepovažuje, jestliže držitel licence neprovedl úkony a postupy vyžadované standardy ve stanovených lhůtách z důvodu:

- účastník trhu s elektřinou pro dodržení standardu učiní projev dobré vůle, ze kterého jednoznačně vyplývá požadavek provést tyto úkony a postupy ve lhůtě delší,
- účastník trhu s elektřinou prokazatelně neposkytne součinnost nezbytnou k dodržení standardu,
- není spravedlivě možné požadovat od příslušného držitele licence dodržení standardu, zejména v důsledku živelných událostí nebo havárií (např. kalamitní stavy) na zařízení distribuční soustavy,
- nastal stav nouze nebo jsou prováděny činnosti bezprostředně zamezující jeho vzniku.

Za nedodržení standardu ukončení přerušení distribuce elektřiny je provozovatel distribuční soustavy povinen zákazníkovi poskytnout finanční náhradu. [23]

3.1.2. Plánovaná přerušení

Jedná se o přerušení přenosu nebo distribuce elektrické energie a to jen v nezbytném rozsahu, pro provádění plánovaných prací na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy nebo v jejich ochranném pásmu, zejména oprav, rekonstrukcí, údržby a revizí. Provozovatel soustavy musí oznámit započetí a skončení plánovaného omezení nebo přerušení dodávek elektrické energie způsobem v místě obvyklým, nejméně však 15 dnů předem. Ohlašovací povinnost nevzniká při provádění nutných provozních manipulací, při nichž omezení nebo přerušení dodávky elektřiny nepřekročí 20 minut.

V Pravidlech provozování distribučních soustav je stanoveno omezování odběratelů při plánovaných odstávkách tak, že dodávka elektrické energie smí být v průběhu 7 kalendářních dní přerušena v součtu maximálně 20 hodin a délka trvání jednoho přerušení je závislá na následujícím období:

- duben až říjen trvání jednoho přerušení maximálně 12 hodin,
- listopad až březen trvání jednoho přerušení maximálně 8 hodin.

Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny není dodržen, jestliže provozovatel distribuční soustavy omezí nebo přeruší distribuci el. energie dříve, než ohlásil, nebo ukončí omezení nebo přerušení distribuce el. energie později, než ohlásil. V případě nedodržení oznámeného započetí a ukončení plánovaného přerušení distribuce elektřiny má zákazník nárok na náhradu. [19][20]

3.1.3. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie

Začátkem přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny pro výpočet ukazatelů je okamžik, kdy se provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení nebo kdy vznik přerušení mohl a měl zjistit. Ukazatele se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušení, tedy přerušení delší jak 3 minuty. Pro výpočet nepřetržitosti distribuce elektrické energie se používají následující ukazatele:

a) Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období:

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad [\text{přerušení/rok/zákazník}] \quad (3.1)$$

h - je označení hodnocené napěťové hladiny

j - je pořadové číslo události v hodnoceném období

n_{jh} - celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku j -té události

N_{sh} - celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období:

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}} \quad [\text{minut/rok/zákazník}] \quad (3.2)$$

t_{sj} - součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku j -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž byla přerušena distribuce elektřiny, stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (3.3)$$

j - pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události

t_{ji} - doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události

n_{jhi} - počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období:

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad [\text{minut/přerušení}] \quad (3.4)$$

b) Systémové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_h \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad [\text{přerušení/rok/zákazník}] \quad (3.5)$$

N_s - celkový počet zákazníků v soustavě (na hladinách nn, vn a vvn) ke konci předchozího kalendářního roku.

h - hladina nn, vn a vvn

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období:

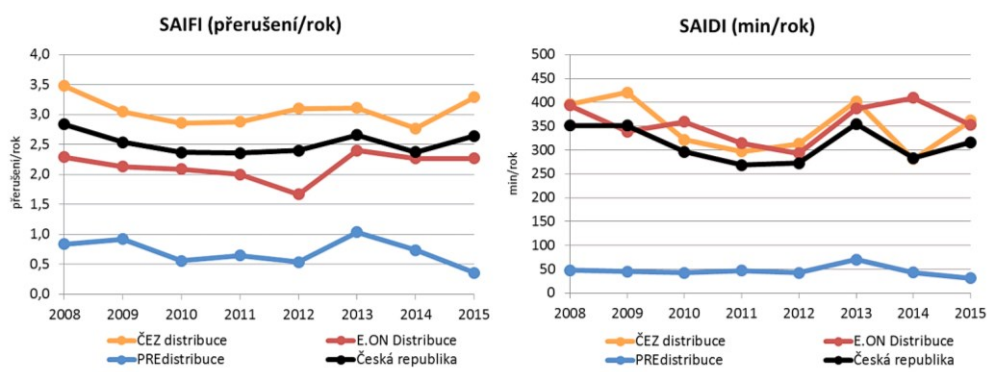
$$SAIDI_s = \frac{\sum_h \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad [\text{minut/rok/zákazník}] \quad (3.6)$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období:

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad [\text{minut/přerušení}] \quad (3.7)$$

Hladinové ukazatele nepřetržitosti distribuce vyjadřují celkové důsledky událostí v DS na zákazníky připojené k jednotlivým napěťovým hladinám. **Systémové ukazatele** vyjadřují průměrné hodnoty dopadů událostí na nepřetržitost distribuce elektřiny za všechny zákazníky celé DS. Pojem zákazník vyjadřuje počet odběrných míst [20][23].

Na obrázku č. 8, jsou zobrazeny ukazatele nepřetržitosti distribuce a přenosu elektrické energie SAIFI a SAIDI mezi lety 2008-2015



Obr. 8 - Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce a přenosu el. energie [21]

Podle zprávy ERÚ z roku 2015 bude kvalita síťových služeb nadále posuzována prostřednictvím kombinace ukazatelů nepřetržitosti SAIFI a SAIDI. Výše penále nebo bonusu za dosaženou úroveň kvality distribuce elektřiny se stanoví v závislosti na dosažených hodnotách ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny vzhledem k úřadem stanoveným požadovaným hodnotám. Současně s požadovanými parametry kvality budou stanoveny „horní a dolní meze“, od kterých bude dále uplatňována maximální hodnota bonusu respektive penále. Nadále se předpokládá s využitím tzv „neutrálního pásma“, v rámci kterého nebude docházet k uplatňování bonusů či sankcí. Výše penále nebo bonusu za dosaženou úroveň distribuce elektřiny se stanoví v závislosti na dosažené úrovni ukazatele kvality distribuce elektřiny vzhledem k úřadem stanovené hodnotě. Pro jednotlivé držitele licence jsou stanovovány individuální parametry ukazatele kvality. [21]

3.2. Řád preventivní údržby

Na všech elektrických zařízeních musí být během anebo po dokončení výstavby, před uvedením do trvalého provozu prohlédnuto a vyzkoušeno v rámci výchozí revize. Po provedení výchozí revize se na zařízení provádí pravidelné revize. Lhůty těchto pravidelných revizí elektrických zařízení jsou stanoveny podle ČSN 33 1500 na základě jejich využití, konstrukce a určení vnějších vlivů. Norma platí pro všechna elektrická zařízení, která mohou ohrozit lidské zdraví, užitková zvířata, majetek a okolní prostředí za stanovených podmínek provozu elektrickým proudem nebo napětím a jevy vyvolanými účinky elektřiny.

Dále se na zařízení provádí mimořádné revize, které jsou prováděny podle provozních potřeb. Tato revize je prováděná na základě mimořádného požadavku například: právního předpisu, technické normy, požadavku orgánu státní správy nebo majitele zařízení. Příkladem takové mimořádné revize může být revize hromosvodu po úderu blesku, revize elektrického spotřebiče provedená po jeho opravě, oponentní revize provedená v případě, kdy orgán dozoru, majitel objektu apod. zpochybnil zprávu o původně provedené revizi, nebo zpráva o takové revizi není k dispozici.

V distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektrické energie se nemusí provádět pravidelné revize, pokud bezpečnost elektrického zařízení je zajišťována pravidelnými kontrolami a údržbou podle schváleného řádu preventivní údržby. Tato ustanovení se nevztahují na zařízení elektroinstalací a hromosvodů v případě, že pravidelné kontroly nejsou zapracovány do příslušných pracovních postupů, pak nadále trvá povinnost provádění pravidelných revizí ve lhůtách dle ČSN 33 1500.

Řád preventivní údržby obsahuje lhůty a způsob provádění kontrol a údržby. Například lhůty provádění ŘPU kabelového rozvodu nn a vn v MŽ síti Šumperk jsou zpravidla stanoveny v intervalu 4 let, kdy rozestup mezi prohlídkou DTS (kobkové, kompaktní, zděné) a její údržbou je 2 roky. Údržba a diagnostika kabelových skříní se provádí zároveň každé 4 roky. [22][24]

3.2.1. Údržba distribučních trafostanic

Výhodou MŽ sítě je možnost provádět údržbu DTS na hladině vn bez napětí a metodou PPN je prováděna pouze údržba rozvaděče nn a to bez omezení odběratele elektrické energie. Pokud by si to okolnosti vyžádaly (např. výměna celého rozvaděče) je možné rozvaděč nn (pokud na něj nejsou napojeny paprskové vývody, nebo na kabelech instalovány T odbočky) uvést do beznapětového stavu rozpojením kabelového vedení v nejbližších skříních buď pojistkami, nebo rozpojením příslušné smyčky k němu vedoucí a to podle toho, jestli se jedná o kabel vedoucí přímo nebo je smyčkován přes další odběry. U klasické MŽ není vždy nutné posilovat spojovací skříň silnějšími pojistkami, jak tomu je u ZMŽ, kde je potřeba navýšit jmenovitou hodnotu pojistek slabé vazby, pro zamezení případného výpadku.

Před zahájením prací na zařízení vn nebo v jejich blízkosti je pracovník povinen vypsát příkaz B (písemný dokument o nařízených technických a organizačních opatřeních sloužících k zajištění bezpečnosti při práci na elektrických zařízeních nebo v jejich blízkosti). Příkaz B vydává zaměstnanec určený provozovatelem a vydává se pouze pro jedno pracoviště, jednu pracovní skupinu s dohledem nebo dozorem určené osoby na práce na elektrickém zařízení pod napětím. Platnost příkazu je 24 hodin od okamžiku zahájení prací na zajištění pracoviště. U dlouhotrvajících prací, kdy elektrické zařízení zůstane trvale odpojeno a pokud nedošlo ke změně určené osoby může být příkaz B vydán na delší dobu, nejdéle však na jeden týden. Platnost příkazu B končí posledním úkonem, pro který byl příkaz B vydán, vždy však uplynutím doby. Pokud jsou příkazy B vydány na související práce pro několik skupin, musí se evidovat na jednom místě u určeného zaměstnance, který práce koordinuje.

Příkaz B musí obsahovat číslo příkazu, datum a hodinu jeho vydání, jméno a podpis zaměstnance, který příkaz vydal, jméno a podpis zaměstnance pověřeného dozorem nebo dohledem včetně data a hodiny převzetí příkazu B, jména a podpisy zaměstnanců, kteří jsou povinni zajistit pracoviště, jména a podpisy členů pracovní skupiny, místo a druh práce, způsob a postup zajištění pracoviště, upozornění a označení nejbližších míst, kde jsou části elektrického zařízení pod napětím.

Příkaz B se předává prokazatelně určeným zaměstnancem telekomunikačními prostředky, osobně, poslem.

Od vydání příkazu B je možno upustit v nebezpečí z prodlení a to zejména v případě ohrožení lidského života. Pokud je příkaz B nahrazen vydáním pravidel o bezpečnosti a ochraně

zdraví při práci podle zákoníku práce (př. MPBP), při ověřování beznapětového stavu na elektrickém zařízení vypnutém, ale nezajištěném. [20]

Pro provádění údržby za vypnutého stavu musí pracovník vypnout a zajistit zařízení ze všech možných stran napájení. To znamená na DTS, kde bude prováděna údržba musí nejdříve vypnout hl. vypínač a poté vypnout odpínače vn v DTS, které tuto trafostanici napájí. Což může například v MŽ síti Šumperk znamenat odepnout napájení až ze čtyř stran viz obrázek č. 11. Po provedení všech potřebných manipulací musí pracovník provést zajištění pracoviště, to znamená nejdříve zkratovat zařízení vn a poté nn. Dále musí zabezpečit pracoviště například: ohraničením bezpečnostní páskou, výstražnými tabulkami „Jen zde pracuj“. Pracovník provádějící tuto činnost musí být minimálně osoba znalá s vyšší kvalifikací podle § 6 vyhlášky 50/1978 Sb, v platném znění. Celý tento postup je možné shrnout do těchto pěti pravidel:

- VYPNI (*zařízení ze všech možných stran napájení*)
- ZAJISTI (*vypnutý stav*)
- ODZKOUŠEJ (*ve všech fázích*)
- UZEMNI A ZKRATUJ (*ze všech stran možného napájení, alespoň jedna zkrat. souprava musí být viditelná z pracoviště*)
- ODDĚL ŽIVÉ A NEŽIVÉ ČÁSTI (*ohraničením pracoviště, příkazovou tabulkou*)

Na obrázku č. 9 je zobrazen pracovník při zkratování kabelového přívodu v rozvaděči VN zděné DTS. Pro provádění činnosti musí být vybaven ochrannými pomůckami jako je přilba se štítem pro ochranu obličejové části, rukavicemi třídy 3 (pokud se dotýká zkratovací soupravy), záchranným hákem a odpovídajícím pracovním oděvem.



Obr. 9 - Zkratování vývodu v DTS

Před započetím samotného zkratování vedení, provede pracovník odzkoušení všech tří fází a dále uzemní zkratovací soupravu. Poté může začít provádět zkratování, které začíná od nejbližší živé části a končí nejvzdálenější. Při demontáži zkratovací soupravy je tento postup opačný, kdy začne od nejvzdálenější a končí nejbližší. Pracovníci při provádění údržby DTS musí provést následující úkony:

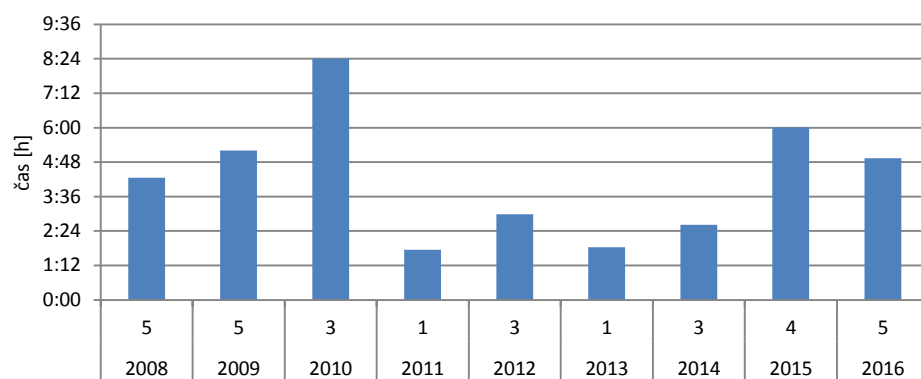
- očištění rozvaděče vn, nn, transformátorů, venkovního a vnitřního prostoru DTS,
- kontrolu stability stání trafa, tlaku izolačního média v kompaktním rozvaděči,
- zkontrolovat dotažení všech proudových spojů, utěsnění a uchycení kabelů, správnost přiřazení jističích prvků, hladinu oleje v koncovkách vn případně provést dolití,
- provést funkční zkoušku spínacích prvků a test indikátoru zkratového proudu,
- promazání všech pohyblivých částí,
- provést měření uzemnění, impedance poruchové smyčky a měření proudu kondenzátoru.

3.3. Poruchové stavy

Jak již bylo řečeno v kapitole 2.2.4, při poruše na straně vn ostatní napaječe přeberou přes vedení nn jeho funkci. Pro vyhledání poruchového místa dispečer vn vymezí úsek s několika trafostanicemi. Pro přesnou lokalizaci např. vadného kabelu mezi trafostanicemi jsou DTS vybaveny indikátory zkratového proudu (IZP), které průběžně a nezávisle v jednotlivých kanálech vyhodnocují velikost každé půlperiody proudu. Po překročení hodnoty nad vybavovací a po předem stanovenou dobu IZP změní barvu indikační části z černé na žlutou. Porušený úsek vedení je lokalizován mezi posledním vybaveným IZP a následujícím prvním indikátorem IZP v klidovém stavu. Po obnovení napájení se provede nulování indikátoru buď automaticky nebo ručně, podle toho, jak je konkrétní IZP nastaven. Po vymezení poruchy provede poruchová četa potřebné manipulace a obnoví napájení ostatní nepoškozené části vedení. Po obnovení napájení ze strany vn, opětovné zapnutí v DTS v určeném časovém intervalu (např. 20 sekund) provede zapnutí hlavního jističe.

V Šumperské mřížové síti se nesmí na rozvodně vypnout více než dva kabelové vývody vn najednou, aby se udržela nn síť bez omezení. Při vyhledávání zemního spojení dispečerem je vypnuto vždy jen jedno vedení vn. Pokud na něm není zemní spojení, je toto vedení zapnuto a pokračuje se na další.

Na obrázku č. 10 jsou znázorněny poruchy na kabelovém vedení v mřížové síti Šumperk mezi lety 2008 až 2016, nejsou zde zahrnuty poruchy v DTS. U každého data je uveden počet poruch v příslušném roce a modře celková doba do obnovení napájení linky. Při výpadku vedení vn v mřížové síti nelze určit počet omezených odběratelů napájených z DTS, protože odběratelé jsou napájeni z ostatních neporušených napáječů. Počet omezených odběratelů lze odvodit pouze z nahlášených poruch nn. Celkové trvání poruchových stavů do obnovení napájení linky bylo přibližně 14 hodin.



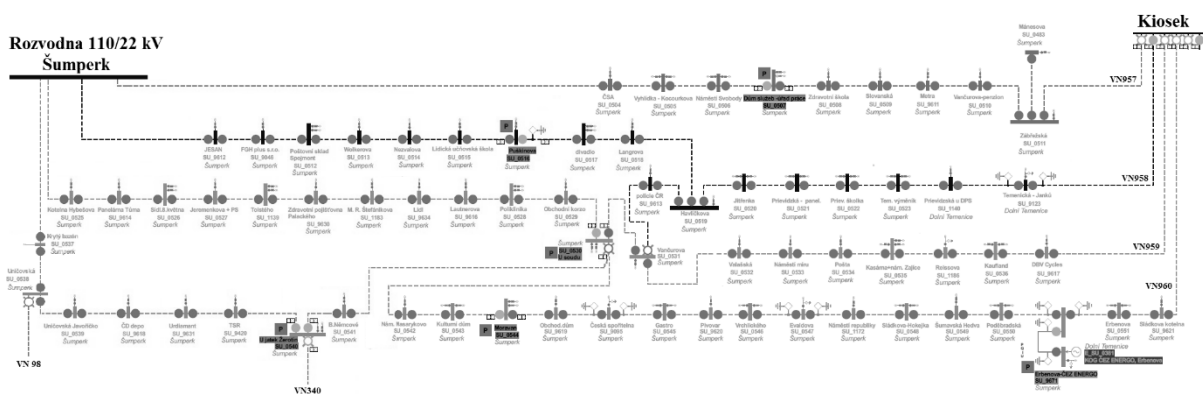
Obr. 10 - Počet vn poruch a celková doba do obnovení napájení

4. Popis mřížové sítě v konkrétní oblasti

4.1. Mřížová síť Šumperk

V počátcích vznikaly mřížové sítě přestavbou starých sítí paprskových nebo okružních. Například v roce 1933 mělo 92 větších měst USA MŽ síť napájené šesti až devíti napaječi se zatížením 20 až 40 MW. V amerických městech jsou MŽ používány již od roku 1922, kdy byl použit systém vypalování kabelů nn místo pojistek. Vodič byl u transformátoru zeslaben a při poruše část kabelu uhořela. Tento způsob byl umožněn provozním napětím 208/120V za použití jednožilových kabelů uložených v tvárnících. Mřížové sítě postupem času vznikaly v různých konfiguracích. Například kombinace část vedení s vypalováním 3f kabelů vedle sítě s pojistkami nebo transformátory o různých jmenovitých hodnotách pro odlehčení s namontovanými reaktory [7].

Ve městě Šumperk se začalo s návrhem mřížové sítě v druhé polovině 80 let minulého století a vlastní rekonstrukce započala v roce 1991. Před rekonstrukcí bylo centrum města napájeno kabelovým vedením o napětové hladině 6 kV a provozováno jako zjednodušená mřížová síť, kdy každý napaječ VN měl vzájemně propojené trafostanice slabými vazbami. Pro uskutečnění rekonstrukce hrál i fakt, že město patřilo mezi hlavní sídla stranických politických špiček a zajištění spolehlivosti dodávky elektrické energie mělo vysokou prioritu. Klasická mřížová síť je napájena z rozvodny 110/22 kV čtyřmi hlavními kabelovými vedeními vn, na která jsou napojena další dvě venkovní. Konce vývodů čtyř hlavních kabelových linek v MŽ jsou spojeny v dálkově ovládaném kiosku, čímž je umožněno napájení i z druhé strany v případě poruchy na některém z vývodů. V kiosku je zajištěno napájení celkem šesti linek, z toho čtyři napájí klasickou mřížovou síť, jedna zjednodušenou a další zajišťuje napájení venkovním vedením převážně průmyslových podniků města.



Obr. 11 - Schéma vn MŽ Šumperk

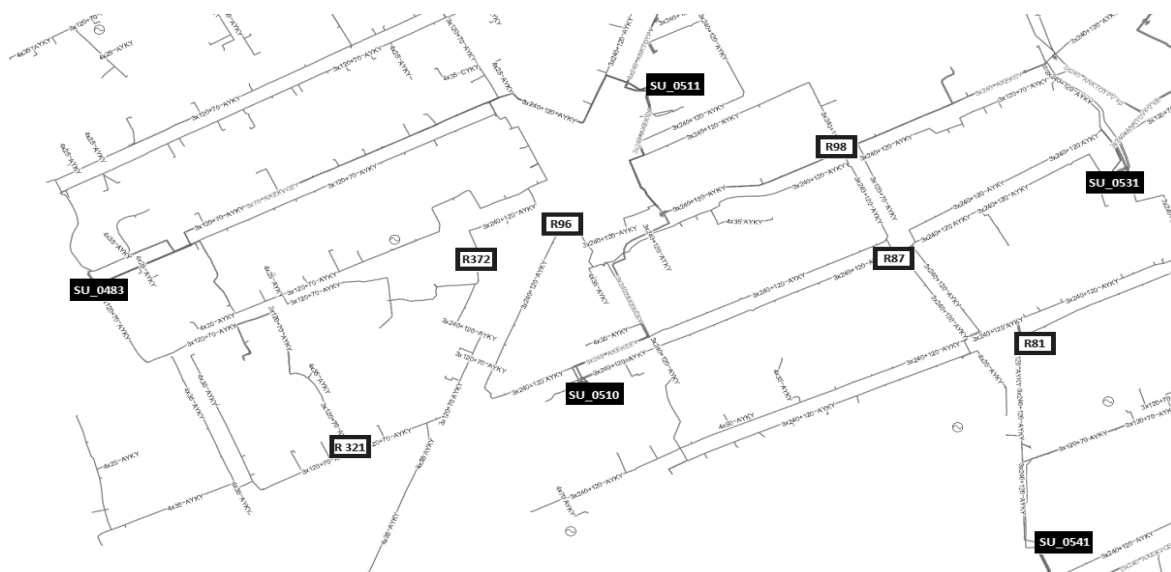
Ve městě je provozováno celkem 73 transformačních stanic, z toho klasickou mřížovou síť tvoří 35 DTS a zjednodušenou 16 DTS. Zbylé trafostanice jsou provozovány jako distribuční, nebo cizí a to v zapojení paprskovém. DTS jsou osazeny jedním nebo dvěma transformátory, jedna z DTS je osazena třemi. Transformační stanice jsou osazovány zpravidla transformátory o nominálním

výkonu 400 kVA. Některé DTS s dvěma transformátory jsou rozděleny přes spojku přípojníc a napájejí jedním transformátorem klasickou mřížovou sítí a druhým zjednodušenou. Dále mohou být provozovány jedním transformátorem jako distribuční a druhý transformátor je v majetku cizího odběratele.

Část nn mřížové sítě je tvořena magistralním vedením o průřezích 240 mm², 185 mm², 150 mm² a 120 mm². Tato vedení jsou spojena ve skříních (RIS) v provedení jako pilíř nebo zazděných na objektech. Vedení shodných průřezů jsou jištěna pojistkami o stejné jmenovité hodnotě s pomalou charakteristikou. Toto zapojení zaručuje vybavení pojistky nejbližší místu poruchy. Ve skříních kde se setkávají vedení o různých průřezích, jsou tato vedení jištěna pojistkami slabé vazby. Slabá vazba je místo mezi dvěma DTS, kde je impedance k oběma DTS prakticky totožná. Za normálního provozu jsou v těchto místech minimální přetoky a praktické zkušenosti ukazují, že přetoky v těchto místech se pohybují v jednotkách ampér. Místa slabých vazeb obsahují pojistky nižší nominální hodnoty proudu, což má hlavní význam v případě poruchy, kdy poruchový proud jako první přeruší pojistky slabé vazby. Tím zajistí odpojení zdravé části sítě od oblasti s poruchou a zároveň neovlivní oblasti napájené z ostatních DTS.

4.2. Popis měřené lokality

Na obrázku č. 12 je zobrazeno rozmístění měřicích souprav, kde zkratkou SU jsou značeny měřené distribuční trafostanice a zkratkou R rozpojovací skříně. Měřené DTS jsou napájeny třemi různými napáječi vn. Rozpojovací skříně pro měření byly zvoleny tak, aby bylo možné měřit kvalitu elektrické energie i po uvedení DTS SU_0510 do ostrovního provozu. Vyznačené skříně jsou tedy i místa, která při rozpojení příslušných vývodů oddělí DTS SU_0510 od zbytku MŽ sítě, tedy uvedení DTS do ostrovního provozu. Měřená lokalita je zvolena i s ohledem na plán ŘPU za vypnutého stavu, kdy bude možné změřit, jak se projeví výpadek napájení z DTS SU_0531 a SU_0541 na kvalitě dodávky elektrické energie odběratele.



Obr. 12 - Rozmístění měřicích souprav

5. Analýza měření

Cílem měření ve vybrané oblasti je zmapovat chování MŽ při různých provozních stavech, jako je vypnutí několika trafostanic v síti, nebo vyčlenění jedné trafostanice do ostrovního provozu. Dále jaký vliv budou tyto změny mít na konečného odběratele vzhledem ke kvalitě dodávané elektrické energie.

5.1. Použité měřicí přístroje

PQ monitor v provedení MEG 30

PQ monitor je multifunkční měřicí přístroj pro měření a dlouhodobý záznam až čtyř napětí a čtyř proudů, činných i jalových výkonů a energií v trojfázových čtyřvodičových i pětivodičových nn sítích i v sítích vn a vvn. V souladu s normou ČSN EN 50160 a dle metod mezinárodního standardu IEC 61000-4-30 analyzuje všechny parametry kvality napětí na vstupech U1, U2 a U3. Na všech čtyřech napětích registruje události (poklesy, překročení napětí a přerušení napětí), přičemž zaznamenává nejen normou definované charakteristiky událostí na napětích, ale i průběhy všech čtyř napětí i čtyř proudů na počátku a na konci každé události, tzv. počáteční a koncový detail. Počáteční detail události zahrnuje i časový úsek události předcházející a koncový detail zahrnuje i časový úsek následující po události.

Na základě změřených průběhů proudů umožňuje PQ monitor určení směru vzniku události i flikru. PQ monitor umožňuje na svém čtvrtém proudovém vstupu měření a harmonickou analýzu proudu středního vodiče. Variabilně lze čtvrtý proudový vstup s použitím odpovídajícího senzoru použít i pro měření jiných fyzikálních veličin např. pro měření teploty. [10]

Tab. 2 - Přesnost měření a rozlišovací schopnost MEG 30 [10]

Napětí	$\pm 0,1 \%$ z údaje a $\pm 0,1 \%$ z U_n v rozmezí 0,8-1,2 U_n $\pm 0,2 \%$ z údaje a $\pm 0,2 \%$ z U_n mimo rozmezí 0,8-1,2 U_n rozlišovací schopnost: 0,1 % U_n nebo lepší
Proudy se snímači AMOS 300A	0,2 % z údaje a 0,2 % z I_n v rozsahu 0,1 I_n až 1,2 I_n , 0,5 % z údaje v rozsahu 1,2 I_n až 2 I_n , rozlišovací schopnost: 0,1 % I_n nebo lepší
Frekvence	lepší než 10 mHz v rozsahu 48 až 52 Hz, rozlišení: 1 mHz.
Výkon	0,5 % P_n při $f = 50$ Hz a 0,8 U_n až 1,2 U_n a 0,1 I_n až 1,2 I_n ;
Účinník	max 0,5% při U_n a I_n
Napětíová nesymetrie	rozlišení 0,1
Pst	rozlišení 0,01
THD	rozlišení 0,1%
Uharm	rozlišení 0,1% U_n

PQ monitor v provedení MEg 38/C

Monitor MEg38/C jako i PQ30 měří čtyři napětí a čtyři proudy na hladině nn, vn i vvn. Realizuje funkci záznam, funkci analýza kvality napětí a funkci měření elektrické energie, které provádí současně. Ve funkci záznamu PQ monitor MEg38/C, dále jen monitor, zpracovává všechny měřené veličiny, vyhodnocuje výkony, energie a harmonické do řádu 64. Ve funkci analýza kvality napětí třídy A vyhodnocuje pro měřená tři napětí a tři proudy všechny standardem stanovené parametry. Oproti PQ 30, harmonické a vycentrované skupiny mezipharmonických vyhodnocuje do řádu 125. Při záznamu událostí provádí vedle záznamu průběhu $U_{RMS1/2}$ a $I_{RMS1/2}$ i oscilografický záznam všech čtyř napětí a proudů. Uživatelským SW pracujícím nad funkcí záznamu vyhodnotí velikost kompenzační kapacitní baterie a stanoví hodnotu jističe. Ve spojení s trojfázovým a jednofázovým adaptérem zátěže měří charakteristiky spotřebičů. Monitor může pracovat jako oscilograf se záznamem napětí U1 až U4 a proudů I1 až I4 do datové paměti, oscilografický záznam může být spouštěn napětím U4. Monitor obsahuje zdroj zajištěného napájení s napájením ze všech čtyř měřených napětíových vstupů. K měření proudů používá ohebné snímače nebo klešťové transformátory nebo toroidní snímače, které automaticky identifikuje. Navíc má k dispozici softwarové přepínání rozsahů. Pro synchronizaci času předepsanou ve třídě A má možnost připojení GPS. Umožňuje dálkový přenos změřených dat i dálkovou parametrizaci měření. [15]

Tab. 3 - Přesnost měření MEG 38/C třída A (vybrané parametry) [15]

Napětí	$\pm 0,1 \% U_n$ při $10\%U_n - 150\%U_n$
Proudy se snímači AMOS 300A	$0,5\% M.H. \pm 0,1\%I_n$ (45Hz až 60Hz)
Frekvence	$\pm 2\text{mHz}$ při 42,5Hz–57,5Hz
Účinník	1% z M.H.
Napětíová nesymetrie	$\pm 0,1\%$ při $0,5\%U_2 - 5\%U_2$ a $0,5\%U_0 - 5\%U_0$
Pst	5% při Pst, Plt (0,2 – 10,0) 1–4000 změn/min
Harmonická napětí do 50. Řádu včetně	$\pm 5\% U_{\text{harm}}, U_{\text{harm}} \geq 1\%U$ při 10-200% $\pm 0,05\%U_n, U_{\text{harm}} < 1\%U_n$
U_{harm}	$\pm 5\% U_{\text{harm}}, U_{\text{harm}} \geq 1\%U_n$ $\pm 0,05\%U_n, U_{\text{harm}} < 1\%U_n$

Zatěžovací jednotka Meg80/S

Zatěžovací jednotka je vyvinuta jako modulární zařízení, které obsahuje řídicí jednotku (Master) a řízené jednotky (Slave). Každá jednotka (Master nebo Slave) je navržena na simulaci zátěže až o výkonu 50 kW. Řídicí jednotka (Master) má jeden výstup pro jednotku slave. Slave jednotka má jeden vstup a jeden výstup, tím je možné jednotky řetězit. Každá jednotka (master i slave) má možnost nastavení na plný výkon 50 kW (označené „full“), což odpovídá přibližně 60 A nebo na poloviční výkon - 25 kW (označené „half“), s proudem okolo 30 A, v závislosti na velikosti napětí. Délka testu, tedy doba připnutí zátěže lze nastavit, ale obvykle jsou dostačující 2 periody (40 ms). Pro řídicí jednotku lze kromě nastavení délky připnutí, také úhel sepnutí a doba mezi připnutí jednotlivých fází. Pro cyklické testy má jednotka možnost nastavení na doby mezi připnutími. Samotné měření impedance se provádí pomocí přístroje MEg38/C, který měří změny proudu a napětí a následně je v softwaru Matlab provedeno vyhodnocení [16].

5.2. Posouzení naměřených dat a kvality dodávané elektrické energie

Měření kvality dodávané elektrické energie se provádí v 10 minutových intervalech 1008 vzorku, tedy týdenní měření a následně vyhodnocuje v souladu s normou ČSN EN 50160. Pro posouzení vybraných naměřených dat je uvedena koncepce označování podle podnikové normy PNE_33-3430-7 3.vydání. Během krátkodobého poklesu napětí, krátkodobého zvýšení napětí nebo přerušení by mohl algoritmus měření pro ostatní parametry (například měření kmitočtu) vytvářet nespolehlivou hodnotu. Koncepce označování příznakem proto vylučuje počítání jednotlivé události v různých parametrech více než jednou (například počítání jednotlivého krátkodobého poklesu napětí jako krátkodobého poklesu napětí i jako změny kmitočtu) a označuje, že agregovaná hodnota by mohla být nespolehlivá.

Označování se spouští jenom krátkodobými poklesy napětí, krátkodobými zvýšeními napětí a přerušeními napětí. Detekce krátkodobých poklesů napětí a krátkodobých zvýšení napětí je závislá na prahové hodnotě vybrané uživatelem a tento výběr tedy ovlivní, která data jsou označována. Koncepce označování se používá pro třídu funkce měření A (tedy přesná měření). Pro měření síťového kmitočtu, velikosti napětí, flikru, nesymetrie napájecího napětí, harmonických napětí, mezharmionických napětí, signálů v síti a měření kladných a záporných odchylek.

Pokud je během daného časového intervalu jakákoliv hodnota označena, agregovaná hodnota zahrnující tuto hodnotu musí být také označena. Označená hodnota se musí uložit a zahrnout také do postupu agregace, například je-li během daného časového intervalu jakákoliv hodnota označena musí být agregovaná hodnota, která zahrnuje tuto hodnotu, také označena a uložena. V následující kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty a postupy jejich následného vyhodnocování. [14]

5.2.1. Kmitočet sítě

Kmitočet (Frekvence) je fyzikální veličina, udávající počet opakování periodického děje za daný časový úsek a jeho jednotkou je Hz (s^{-1}).

Mezi frekvencí f a časovou periodou T platí vztah:

$$f = \frac{1}{T} \quad [Hz] \quad (5.1)$$

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí v České republice je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřena v intervalech 10 s v následujících mezích, z nichž se stanoví průměrná hodnota kmitočtu:

- u systému se synchronním připojením k propojenému systému
 - 50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) během 99,5 % roku;
 - 50 Hz + 4 %/-6 % (tj. 47 Hz ... 52 Hz) po 100 % času;
- u systému bez synchronního připojení k propojenému systému (tedy ostrovní napájecí systémy)
 - 50 Hz \pm 2 % (tj. 49 Hz ... 51 Hz) během 95 % týdne;
 - 50 Hz \pm 15 % (tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) po 100 % času.

Pro systémy se synchronním připojením je normou dána odchylka $\pm 1 \%$ (0,5 Hz) po dobu 99,5 % roku, pro zbylé 0,5 % roku jsou vymezeny odchylky větší z důvodů větších náhlých výpadků výroby elektrické energie. Pro ostrovní napájení norma udává rozsah $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ (1 Hz) po dobu 95 % týdne. Zbývajících 5 % má rozsah $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$ (7,5 Hz). Širší rozsahy jsou u ostrovního napájení voleny z důvodů nižšího poměru mezi výrobou a spotřebou. Ta je jeden rok pro synchronní připojení a jeden týden pro ostrovní napájení.

Síťový kmitočet monitor PQ 30 měří v prvním napěťovém kanálu po průchodu dolní propustí s mezním kmitočtem 60 Hz. Napětí musí mít velikost alespoň 20 % jmenovité hodnoty. Měří se průměrná hodnota kmitočtu v časových intervalech 10 s, rozlišení je 1 mHz. Vyhodnocení pro soulad s normou se provádí podle vzorce:

$$\frac{N1}{N} \leq 0,5 \%$$
 (5.2)

a současně

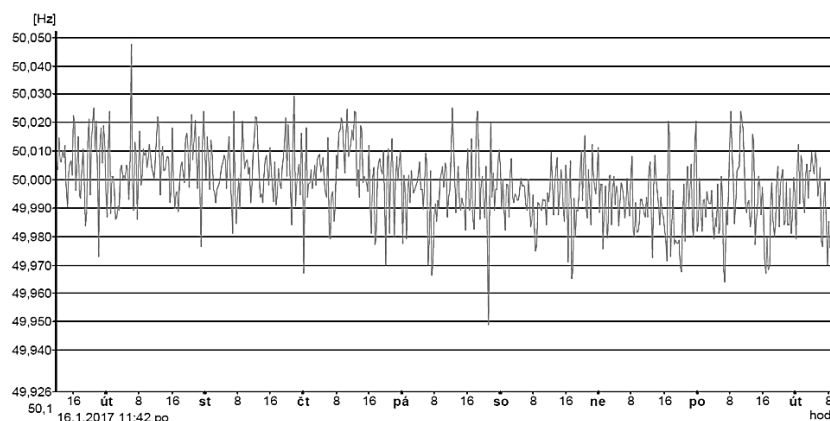
$$N2 = 0$$
 (5.3)

N - je počet 10 s intervalů, během kterých je napájecí napětí uvnitř $\pm 15 \%$ jmenovité hodnoty

N1 - frekvence se liší o více než 0,5 Hz od jmenovité hodnoty a napájecí U je v intervalu $\pm 15 \%$ jmenovité hodnoty

N2 - frekvence se liší o více než $\pm 2/3$ Hz od jmenovité hodnoty a napájecí napětí je v intervalu $\pm 15 \%$ jmenovité hodnoty

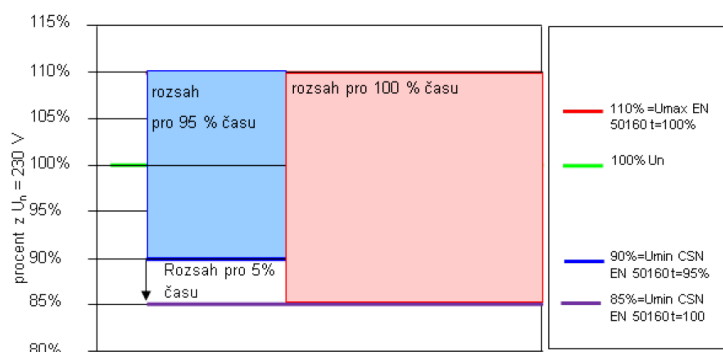
Ze zobrazeného diagramu obrázek č. 13 synchronně napájeného systému je patrné že mezní hodnoty 47-52 Hz pro 100 % času a hodnoty 49,5-50,5 Hz 99,5 % roku nebyly překročeny.



Obr. 13 - Týdenní diagram 100% času frekvence SU_0510 (MŽ normální provoz)

5.2.2. Velikost napájecího napětí a jeho odchylky

Jmenovité napětí U_n v České republice pro veřejnou síť je 230 V, mezi fází a uzlem nebo mezi fázemi. Za normálních provozních podmínek, mimo období s přerušením, odchylka napájecího napětí nemá přesáhnout $\pm 10 \%$ jmenovitého napětí U_n po dobu 95 %. V případech, kdy elektrické napájení v sítích není připojeno k přenosovým sítím nebo pro speciální dálkově ovládané uživatele, nemají odchylky napájecího napětí přesáhnout $(+10 \% / - 15 \%) U_n$ po dobu 100 % času. Uživatelé sítě mají být o těchto podmínkách informováni.



Obr. 14 - Dovolené odchylky napájecího napětí nn

Velikosti napětí jsou monitorem PQ 30 udávány efektivními hodnotami (RMS) v intervalech po 10 síťových periodách, tedy pro skupiny po 1024 datech. Tak v případě napětí se z posloupnosti dat $u(l)$, kde $l = 0, 1, 2, \dots, 1023$ je pořadí představující relativní čas výskytu okamžitých hodnot, vypočítaná efektivní hodnota napětí je:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{1024} \sum_{l=0}^{1023} u^2(l)} \quad (5.4)$$

Z patnácti takto naměřených hodnot po 10 síťových periodách se určí hodnota pro časový interval 3 sekund, z kterého se složí hodnota pro interval hodnocení měření 10 minut. Pro shodu s normou platí následující vztah:

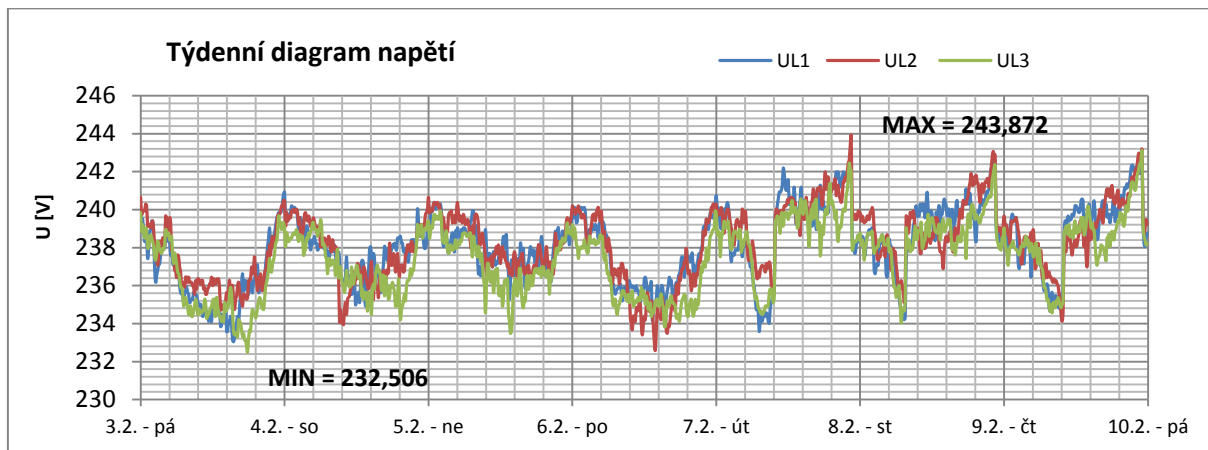
$$\frac{N1 + N_p}{N} \leq 5 \% \quad (5.5)$$

N - 1008 desetiminutových vzorků při době měření jednoho týdne

N_p - počet 10-ti minutových intervalů s poklesy nebo zvýšením mimo mez $\pm 15 \% U_n$

$N1$ – počet platných neoznačených 10-ti minutových intervalů s napětím nevyhovujícím $\pm 10 \% U_n$

Na obrázku č. 15 je zobrazeno týdenní měření 100 % napětí skříně R321 v ostrovním provozu. Z naměřených dat je maximální odchylka napětí 243,872 V a minimální odchylka napětí 232,506 V. Což znamená pouze kladnou odchylku od jmenovitého napětí 6,03 %. Naměřené odchylky vyhovují i pro 95 % času, po vyřazení 5% hodnot je odchylka od jmenovitého napětí 4,86 %. Odchylky napětí vyhovují normě.



Obr. 15 - Týdenní diagram 100 % času napětí v R321 (MŽ ostrovní provoz)

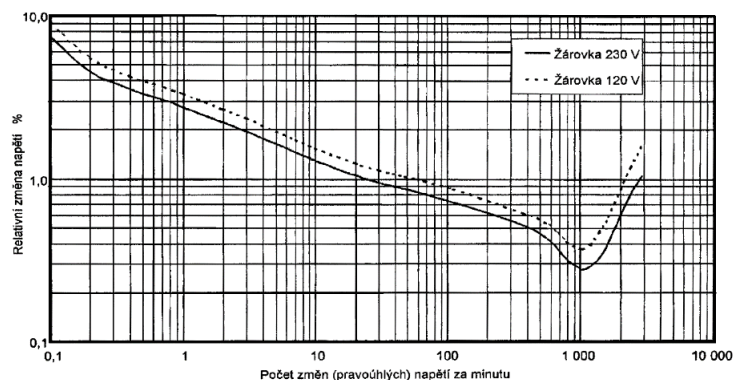
5.2.3. Rychlé změny napětí a míra vjemu flikru

V sítích nn vzájemné působení zátěží v síti například spouštění, nebo proměnlivé zatížení velkých motorů mohou způsobovat rychlé změny napětí. Malé opakující se změny napětí mohou v síti způsobovat kolísání spektrální rozložení nebo jasu světelných zdrojů v čase. Tento zrakový vjem je označován jako flikr. Nad určitou prahovou hodnotou se stává flikr nepříjemný a s rostoucí amplitudou kolísání nepříjemnost vjemu vzrůstá. Při určitém kmitočtu mohou být nepříjemné již velmi malé amplitudy. Flikr lze vyjádřit dvěma parametry:

P_{st} - krátkodobá míra vjemu flikru

P_{it} - dlouhodobá míra vjemu flikru

Měření krátkodobé míry vjemu flikru se obdobně zakládá na vyhodnocování efektivních hodnot napětí v intervalech jedné síťové periody. Vyhodnocení naměřených hodnot je prováděno s využitím modelu referenčního světelného zdroje 60W žárovky zobrazeného na obrázku č. 16 a s využitím statistického modelu vzorec č.5.6.



Obr. 16 - Křivka stejné míry vjemu P_{st} pro pravoúhlé změny U v rozvodných sítích nn [12]

$$P_{st} = \sqrt{(K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n)} \quad (5.6)$$

K_n - jsou váhové koeficienty

P_n - úrovně překročení v distribuční funkci (percentily)

Příklad výpočtu:

$$P_{st} = \sqrt{(0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_{1s} + 0,0657 P_{3s} + 0,28 P_{10s} + 0,08 P_{50s})} \quad (5.7)$$

$P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} – úrovně blikání překročené po 0,1 %; 1 %; 3 %; 10 %; 50 % sledované doby 10 minut. Podle koeficientu ve vzorci je patrné, že nejvyšší váhu má 10 % překročení.

Index „s“ ve vzorci znamená zprůměrované hodnoty dle vztahu:

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}) / 3 \quad (5.8)$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4) / 3 \quad (5.9)$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5 \quad (5.10)$$

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3 \quad (5.11)$$

Časová konstanta paměti 0,3 s v měřicím přístroji zajišťuje že $P_{0,1}$ se nemůže náhle měnit a pro percentil není nutné průměrování. [18]

Z dvanácti desetiminutových hodnot P_{st} se dále určí dlouhodobá míra vjemu flikru P_{lt} podle vzorce:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} \quad (5.12)$$

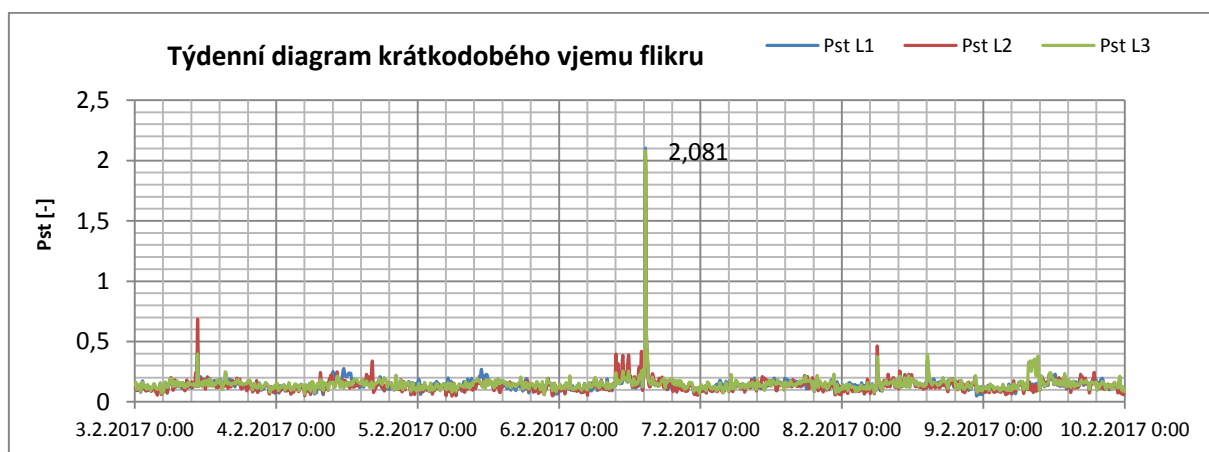
Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$. Reakce na flikr je subjektivní a může se měnit v závislosti na příčině flikru a na délce doby, po kterou se vyskytuje. V některých případech způsobuje $P_{lt} = 1$ obtíže, zatímco v jiných případech vyšší hladina P_{lt} obtíže nevyvolává. Pro shodu s normou platí následující vztah:

$$\frac{N1_{P_{lt}}}{N_{P_{lt}}} \leq 5 \% \quad (5.13)$$

$N1_{P_{lt}}$ - počet P_{lt} větších než 1

$N_{P_{lt}}$ - počet hodnocených P_{lt}

Na obrázku č. 17 je zobrazeno týdenní měření krátkodobé míry vjemu flikru ve skříní R321 v ostrovním provozu, kde hodnota $P_{st} = 2,081$ byla způsobena zapojením zátěže Meg80/S. Po zbytek měřeného období P_{st} nepřekročily hodnotu 1. Po vyřazení 5 % nejvyšších hodnot byla maximální hodnota ve fázi L2 $P_{lt} = 0,22$ a tedy naměřené hodnoty vyhovují normě.



Obr. 17 - Týdenní diagram času krátkodobého vjemu flikru v R321 (MŽ ostrovní provoz)

5.2.4. Nesymetrie napájecího napětí

Trojfázovým ukazatelem kvality je činitel nesymetrie. Stav ve vícefázovém systému, ve kterém RMS hodnoty sdruženého napětí (základních složek), nebo fázových úhlů mezi po sobě jdoucími fázovými napětími nejsou shodné. Zjišťuje se ze základních harmonických složek všech tří napětí v trojfázové soustavě, stupeň nerovnosti se obvykle vyjadřuje jako poměr zpětné (u_2), případně nulové složky (u_0) a sousledné složky napětí. Pro určení shody s normou nám postačí zpětná složka u_2 , která je rozhodujícím parametrem pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě a je definována následujícím poměrem:

$$u_2 = \frac{U_{zp}}{U_{so}} \cdot 100\% \quad (5.14)$$

U_{zp} - velikost zpětné složky

U_{so} - velikost sousledné složky.

V případě znalosti komplexních základních harmonických složek fázových napětí U_1 , U_2 , U_3 :

$$U_{zp} = \frac{|U_1 + a^2 U_2 + a U_3|}{3} \quad (5.15)$$

$$U_{so} = \frac{|U_1 + a U_2 + a^2 U_3|}{3} \quad (5.16)$$

Kde:

$$a = \exp\left(\frac{j2\pi}{3}\right) \quad (5.17)$$

Pro napětí sdružená je jednodušší použít vzorec:

$$u_2 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\%; \text{ kde } \beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (5.18)$$

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních RMS hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0-2 % sousledné složky. V některých oblastech může být nesymetrie ve trojfázových předávacích místech do 3 %. Požadavky normy jsou splněny když:

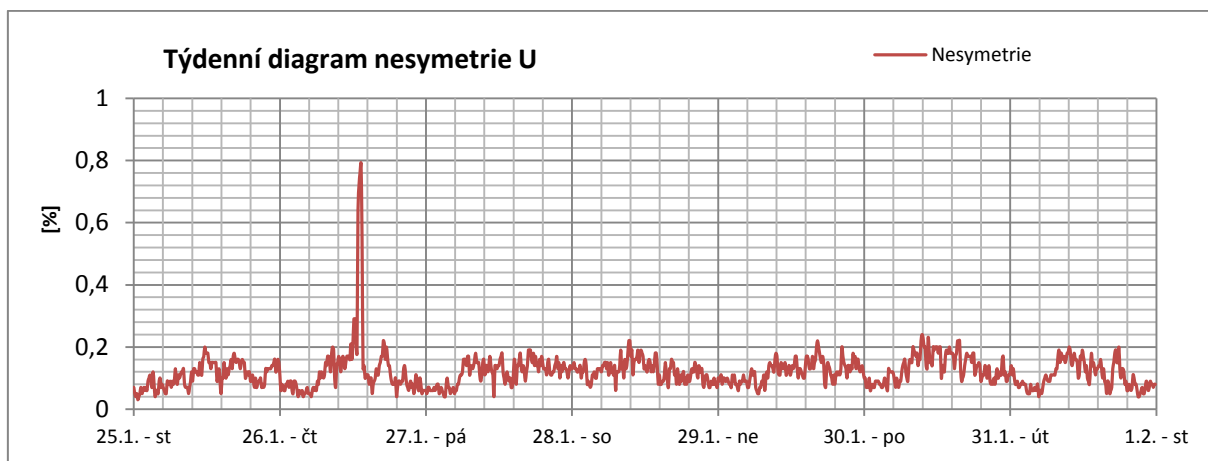
$$\frac{N1}{N + N2} \leq 5\% \quad (5.19)$$

$N1$ - počet desetiminutových intervalů ve kterých hodnota nesymetrie překročí 2 %

N - celkový počet 1008 neoznačených vzorků

$N2$ - počet intervalů, ve kterých došlo k poklesu, zvýšení nebo přerušení napájecího napětí

Na obrázku č. 18 je zobrazena nesymetrie napětí 100 % času měření. Hodnota 0,79 % byla způsobena zapnutím hlavního jističe v měřené DTS po skončení údržby. Ani v jednom vzorku nedošlo k překročení mezních hodnot 2 %, po vyřazení 5 % vzorků byla maximální hodnota nesymetrie 0,18 % a tedy vyhovuje normě.



Obr. 18 - Týdenní diagram nesymetrie v SU_ 0531 (vyp. hl. jistič v SU_0510)

5.2.5. Harmonická a mezipharmonická napětí, úrovně napětí signálů HDO v síti

Napájecí síť je stále více ovlivňována spotřebiči, které odebírají proud nesinusového průběhu (nelineární spotřebiče). Sinusové funkce s kmitočtem rovným celočíselnému násobku základního kmitočtu 50 Hz se nazývají vyšší harmonické. Harmonické proudy tekoucí impedancí sítě způsobují harmonická napětí. Velikost harmonických proudů i impedancí sítě a tudíž i harmonických napětí v odběrných místech se v čase mění. Ve spektru odebíraného proudu se mohou objevit i další složky, které nejsou celočíselnými násobky základní harmonické a ty se nazývají mezipharmonické. Pro posuzování velikosti vyšších harmonických se zavádí pojem poměrná hodnota k-té harmonické, která je definovaná jako poměr efektivní hodnoty k-té harmonické U_k a základní harmonické U_1 . Poměrnou hodnotu k-té harmonické lze definovat jak pro napětí, tak pro proudy. Tato poměrná hodnota je udávána v procentech a lze ji vyjádřit následujícími vzorci:

$$u_{h\%} = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100 \% \quad (5.20)$$

$$i_{h\%} = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100 \% \quad (5.21)$$

$u_{h\%}$ - poměrná hodnota k-tého řádu harmonické napětí v procentech

$i_{h\%}$ - poměrná hodnota k-tého řádu harmonické proudu v procentech

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních RMS hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce č. 4. Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních účinků obtížně předvídatelné. V závislosti na druhu sítě mohou být hodnoty třetí harmonické podstatně nižší.

Tab. 4 - Jednotlivá U_{harm} v předávacím místě v procentech u_h pro řády harm. až do 25 [11]

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3		Řád harmonické h	Harmonické napětí u_h
Řád harmonické h	Harmonické napětí u_h	Řád harmonické h	Harmonické napětí u_h		
5	6,0 %	3	5,0 % ^{a)}	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Meziharmonická napětí vyskytující se blízko kmitočtu 50 Hz mohou vyvolávat záznějový efekt (rázy), který má za následek flickr. V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní rušení v systémech HDO. Problematika meziharmonických napětí vzešla s rozvojem používání frekvenčních měničů a polovodičové techniky. Jejich hodnoty se v současné době studují a nejsou posuzovány pro normu ČSN 50 160. Důležitým parametrem kvality elektrické energie je tzv. činitel harmonického zkreslení napětí $THDu$, který zahrnuje všechny harmonické až do 40. řádu a musí být menší nebo roven 8 %, vztahuje se k základní harmonické složce a vyhodnocuje se podle následujícího vzorce:

$$THDu = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{40} u_h^2}}{U_1} \cdot 100 \% \quad (5.22)$$

Celkové posouzení naměřených se provádí podle následujících vzorců:

$$\frac{N1_{THDu}}{N + N2_{THDu}} \leq 5 \% \quad a \quad \frac{N1_h}{N + N2_h} \leq 5 \% \quad (5.23)$$

$N1_{THDu}$ – počet označených intervalů překračujících mez 8 %

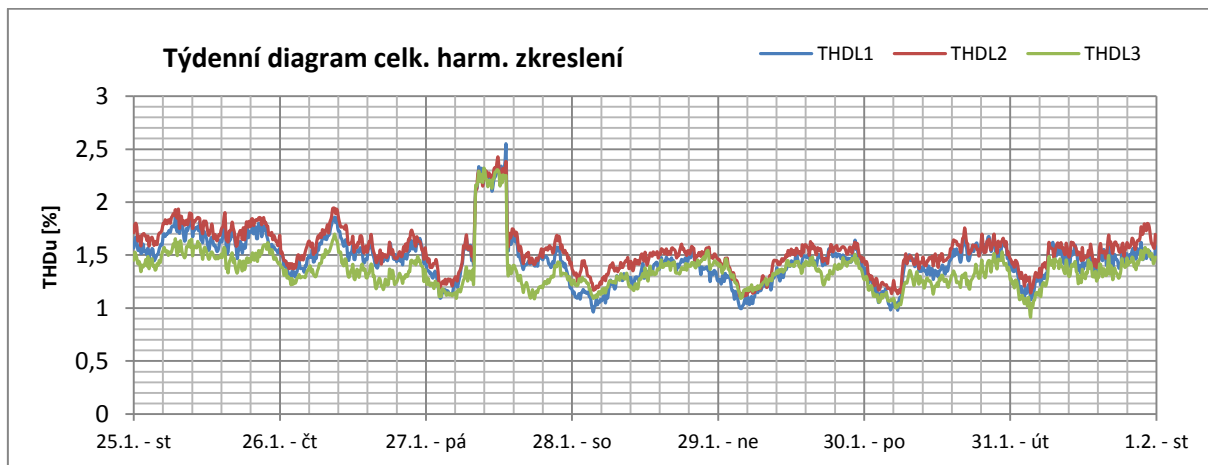
$N2_{THDu}$ – počet intervalů menších nebo rovno 8 %

$N1_h$ – počet označených intervalů překračujících jednotlivé harmonické viz tab. 4

$N2_h$ – počet označených intervalů vyhovujících jednotlivým harmonické viz tab. 4

N – počet intervalů s poklesy, zvýšením, nebo přerušením napájecího napětí

Na obrázku č. 19 je zobrazeno týdenní měření $THDu$. Mírné zvýšení hodnot $THDu$ bylo způsobeno vypnutím hl. jističe v zobrazené DTS při provádění údržby. Po celou dobu měření nebyla překročena mezní hodnota 8 % u $THDu$ a to ani mezní hodnoty jednotlivých harmonických podle tabulky č. 4. Po vyřazení 5 % vzorků byla maximální hodnota $THDu$ 1,86 % a tedy vyhovuje normě.



Obr. 19 - Týdenní diagram celk. harm. zkreslení napětí v SU_0541 (vyp. hl.jistič v SU_0510)

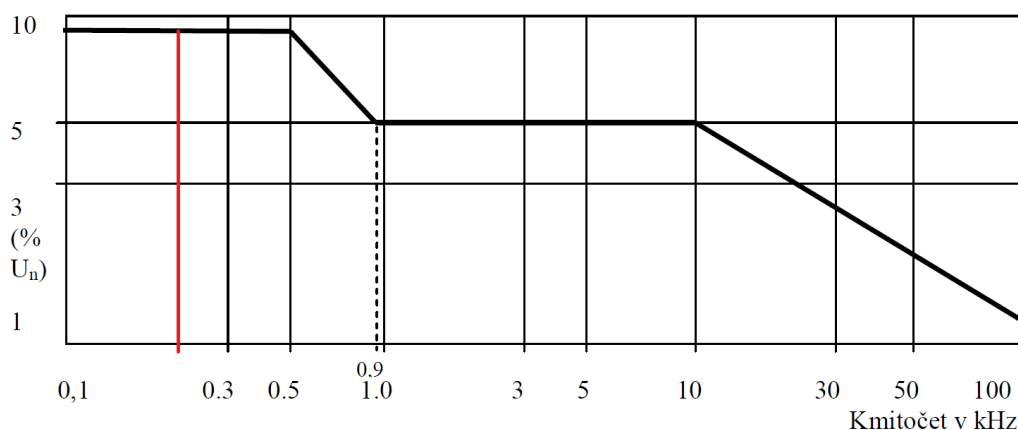
Úrovně napětí signálů HDO v síti

Hromadné dálkové ovládání (HDO) je u nás využíváno již několik desítek let. Slouží pro regulaci spotřeby elektrické energie. Aby nebylo nutné posilovat výrobní kapacity elektráren a zvyšovat přenosovou schopnost vedení kvůli několika hodinám poptávky po elektřině v době špičky, vznikla myšlenka přesunout provoz elektrotepelných spotřebičů do doby nízkého zatížení elektrizační soustavy s pomocí zařízení HDO. Konečný zákazník je motivován nižší cenou odebrané elektrické energie mimo špičku. Signál HDO se využívá nejen v domácnostech, ale i v průmyslových podnicích. V rozvodu průmyslového objektu se takto dají spínat nevýrobní zařízení –např. klimatizační jednotky, vodní hospodářství, aj. Jiné využití systému je pro sepnutí veřejného osvětlení, dopravních značek, osvětlení výloh nebo pouličních reklam.

Systém HDO využívá ke komunikaci a pro přenos informací silové vedení. Principem je umístění vysílače signálu do každé fáze v rozvodnách distribuční sítě (110/22 kV) do sítě 22 kV. Vysílač signálu vysílá impulsní tvar kódu superponovaný na základní frekvenci 50 Hz. Signál je v ČR nejčastěji modulován na frekvencích 183,33; 216,66; 283,33; 760 a 1060 Hz. Takovýto signál prochází přes transformátory až k zákazníkovi, který má vedle vícetarifového elektroměru umístěn přijímač. Přijímač podle došlého pokynu vypne nebo sepne všechny spotřebiče, které jsou k tomuto přijímači přes stykač připojeny a zároveň přepne měření spotřeby na elektroměrů v nižší sazbě.

Současné přijímače HDO dokáží pracovat samostatně, aniž by musely obdržet pokyn k sepnutí či vypnutí. Řídí se vlastním nastaveným programem, který jim distributor dokáže na dálku změnit (stejným principem, jako když vysílá signál sepnout vypnout). [17]

Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být v 99% dne menší nebo rovna hodnotám daným na obrázku č. 20. Monitor PQ 30 byl nastaven na úroveň signálu 217 Hz, na obrázku vyznačeno červeně, což znamená že mezní hodnota je 9 % U_n .



Obr. 20 - Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech U_n ve veřejných distribučních sítích

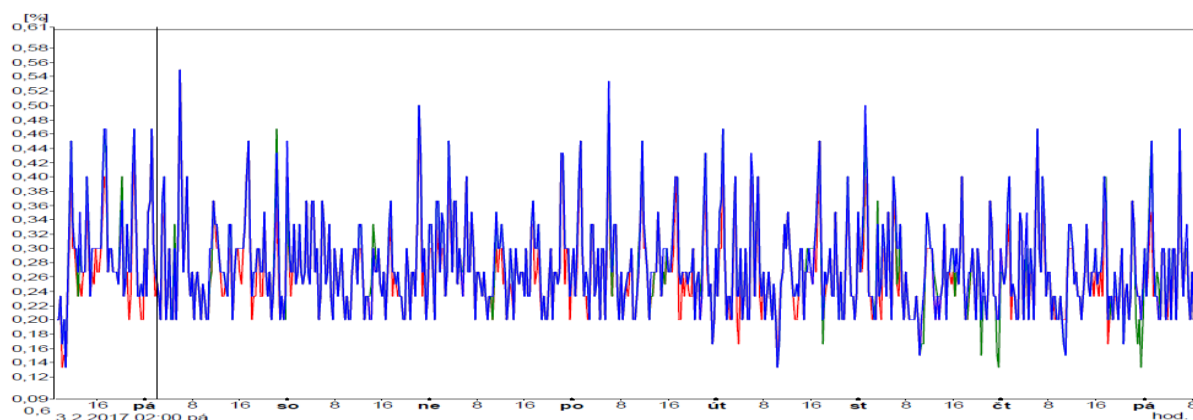
$$\frac{N1}{N + N2} \leq 5 \% \quad (5.24)$$

$N1$ – počet platných 3 s příznaků které překročí křivku na obrázku č.20

N – počet platných neoznačených 3 s intervalů

$N2$ – počet intervalů, ve kterých došlo k poklesu, zvýšení nebo přerušení napájecího napětí

Na obrázku č. 21 je zobrazen týdenní diagram HDO, kde z 99 % hodnot byla úroveň napětí 0,6 %. Mezní hodnoty tedy nebyly překročeny a vyhovují normě.



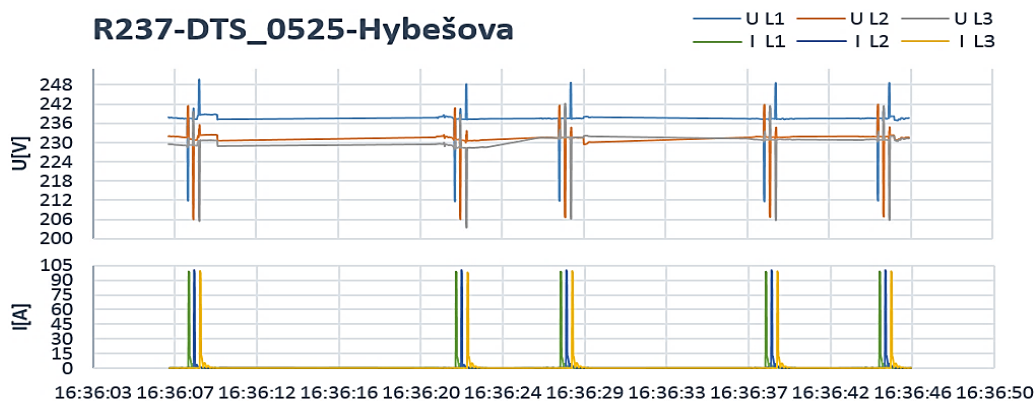
Obr. 21 - Týdenní diagram HDO 217 Hz (R81 sm. R84 – paprsek)

5.2.6. Poklesy a zvýšení napětí

Rychlé snížení jmenovitého napájecího napětí v síti je obecně způsobeno rychlou změnou zátěže v instalacích uživatelů nebo ve veřejné distribuční síti a dočasná zvýšení zase provozním spínáním, odpojením zátěže, úderem blesku do vedení atd. Oba jevy jsou nepředvídatelné a mají převážně náhodný charakter. Jejich četnost se mění podle typu napájecí sítě a místa sledování. Z tohoto důvodu je jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

Prahová hodnota poklesu napětí je rovna 90 % jmenovitého napětí, prahová hodnota přechodného přepětí je rovna 110 % jmenovitého napětí. Za normálních provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 s a hloubku poklesu menší než 60 %. V některých oblastech se mohou velmi často vykytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou 10-15 % U_n jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů.

Na obr. č. 22 je zobrazeno měření se zatěžovací jednotkou, kdy se podařilo vyvolat pokles napětí na hranici 90-80% U_n :



Obr. 22 - Časový průběh měření imp. zátěží R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)

Pro klasifikaci a trvání jednotlivých zvýšení a poklesů z měření R321 je uvedena tabulka č. 5, která je shodná s tabulkami č. 2 a 3 normy ČSN EN 50 160. V tabulce č. 6 je zobrazen výpis jednotlivých zaznamenaných událostí, které jsou klasifikovány jako pokles napětí na úrovni 90-80 % U_n a době trvání 10-200 ms:

Tab. 5 - Klasifikace poklesů a přechodných zvýšení napětí R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)

Poklesy

%U _{jm} / t [ms]	10<t≤200	200<t≤500	500<t≤1000	1000<t≤5000	5000<t≤60000
90 > u ≥ 80	10	0	0	0	0
80 > u ≥ 70	0	0	0	0	0
70 > u ≥ 40	0	0	0	0	0
40 > u ≥ 5	0	0	0	0	0
5 > u	0	0	0	0	0

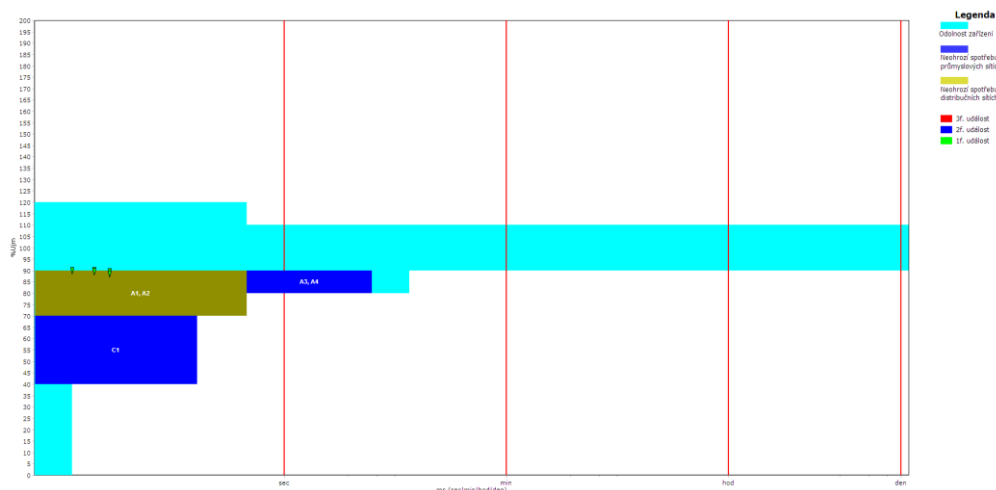
Převýšení

%U _{jm} / t [ms]	10<t≤500	500<t≤5000	5000<t≤60000
u > = 120	0	0	0
120 > u > = 110	0	0	0

Tab. 6 - Výpis událostí R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)

Počátek události	Doba trvání	U[%] f.	U L1 max/min	U L2 max/min	U L3 max/min
15.2.2017 16:36:08.182	00:00:00.030	89.5 2	104.63/104.13	94.52/89.52	104.25/102.42
15.2.2017 16:36:08.488	00:00:00.040	89.3 3	108.55/106.57	102.37/101.77	94.52/89.35
15.2.2017 16:36:22.275	00:00:00.030	89.5 2	104.57/104.03	94.54/89.54	103.84/102.05
15.2.2017 16:36:22.591	00:00:00.040	88.5 3	107.91/105.93	101.57/100.99	93.60/88.47
15.2.2017 16:36:27.814	00:00:00.030	89.8 2	104.77/104.31	94.83/89.78	105.33/103.49
15.2.2017 16:36:28.120	00:00:00.030	89.7 3	108.11/106.09	102.04/101.50	94.88/89.65
15.2.2017 16:36:38.631	00:00:00.030	89.8 2	104.68/104.21	94.88/89.83	105.02/103.20
15.2.2017 16:36:38.937	00:00:00.030	89.5 3	108.06/106.08	102.04/101.52	94.63/89.46
15.2.2017 16:36:44.639	00:00:00.020	89.9 2	104.69/104.26	94.92/89.88	105.00/103.17
15.2.2017 16:36:44.935	00:00:00.030	89.5 3	108.07/106.17	102.09/101.59	94.77/89.48

Pomocí mezní křivky IEEE 446 na obrázku č. 23 je vymezena oblast, ve které je zařízení při změně napájecího napětí schopno nadále plnit svoji funkci, aniž by došlo k selhání přístroje. Jednotlivé události jsou vyznačeny zelenými šipkami uvnitř křivky. Trvání poklesu napětí je vztaženo k procentuální hodnotě napětí sítě a křivka udává oblast, ve které je dané zařízení schopno nadále vykonávat svoji funkci. Osa y znázorňuje poklesy a převýšení od U_n , osa x vymezuje dobu trvání. Světle modrá oblast vyjadřuje odolnost zařízení, tmavě modrá ohrožení spotřeby v průmyslových sítích, žlutě je vymezena oblast ohrožení spotřeby v distribučních sítích.



Obr. 23 - IEEE 446 křivka R237 z PQ 38/C (MŽ okružní vedení)

5.2.7. Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Přerušení dělíme na krátkodobá a dlouhodobá. Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení bývá kratší než 1 s. Krátkodobá přerušení trvají do 3 minut, po překročení této doby se podle energetického zákona č. 458/2000 Sb. jedná o přerušení dlouhodobá.

Přerušení dlouhodobá jsou zpravidla vyvolána poruchami nebo vnějšími vlivy, kterým dodavatel nemůže předcházet, jako je struktura uspořádání sítě, povětrnostní podmínky, vlivy třetích stran apod. Pro plánovaná přerušení se směrné hodnoty neuvádějí, protože tato přerušení se ohlašují s předstihem. Pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typické hodnoty, neboť existuje široké spektrum faktorů. Pro klasifikaci naměřených hodnot krátkodobých i dlouhodobých přerušení napětí (pokles napětí u ve všech fázích pod 5 %) norma uvádí následující tabulku:

Tab. 7 - Třídění přerušení napětí [14]

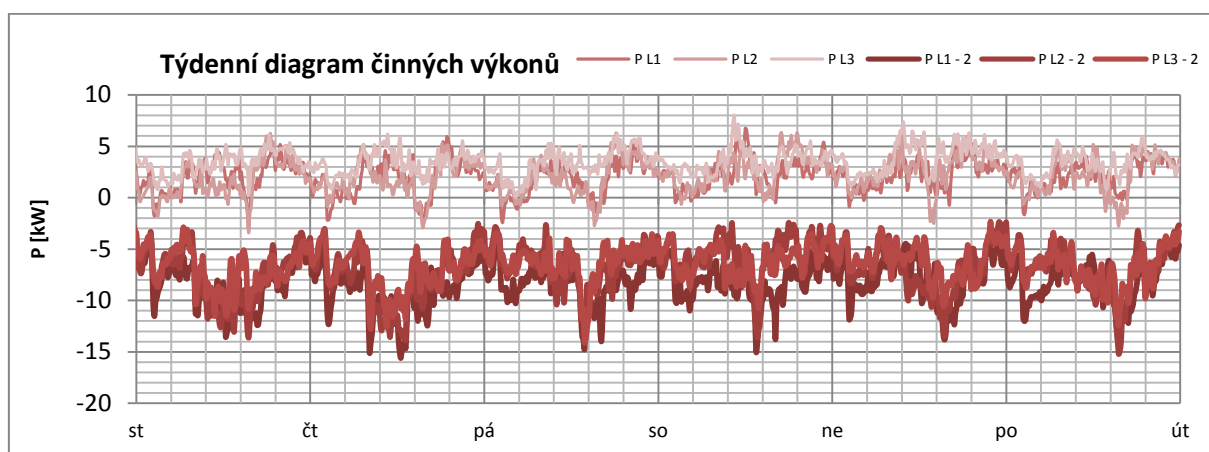
Trvání přerušení	trvání < 1s	3 min ≥ trvání ≥ 1s	trvání > 3 min
Počet přerušení	N_1	N_2	N_3

5.3. Celkové vyhodnocení naměřených dat

Celkem byla provedena tři týdenní měření kvality. První měření bylo za normálního provozního stavu. Druhé za vypnuté DTS SU_0510 a vypnutých DTS SU_0531 a SU_0541, při provádění ŘPU ve čtvrtek a v pátek. Poslední měření bylo zaměřeno na SU_0510 oddělené od mřížové sítě v ostrovním provozu. Při těchto změnách bylo dále provedeno měření impedancí s umělou zátěží ve skříních R96, R372, R321, R87, R91, R98, R508 a dále zkušební ve skříní R237. Tabulka s výsledky měření a jednotlivé průběhy jsou součástí příloh této práce. Během měření nebyly překročeny normou (ČSN EN 50 160) povolené hodnoty.

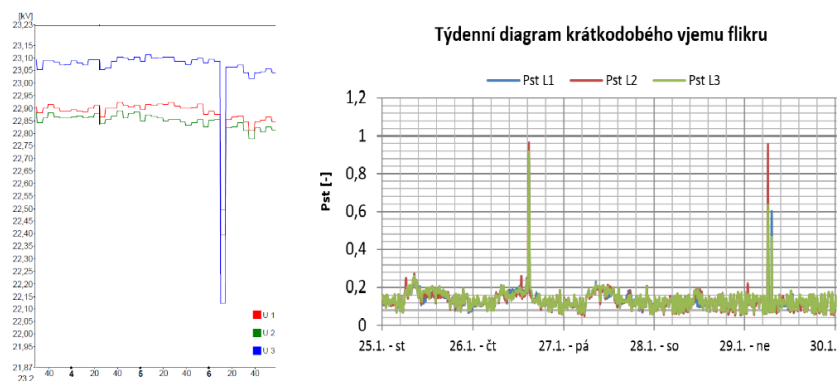
5.3.1. Týdenní měření – při změnách provozních stavů

Při změně provozního stavu v mřížové síti dochází ke změně směru toků výkonů. Příkladem je obrázek č. 24, kde při vypnutí hlavního jističe v SU_0510 se směr toku obrátil k této trafostanici. Směr toku při vypnutém hlavním jističi v SU_0510 je znázorněn tučně.



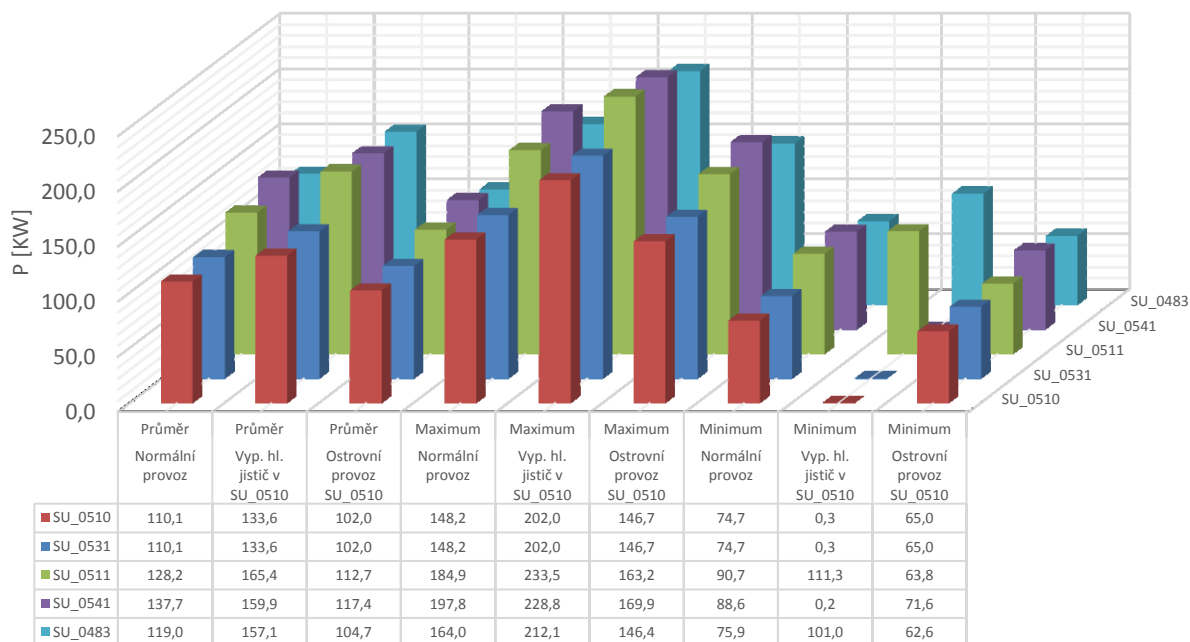
Obr. 24 - Změna toků výkonu v R372 směr R322

V neděli 29.1. v čase měření 6:10 byl zaznamenán na všech měřených vývodech krátkodobý vjem flikru $P_{st} \approx 0,95$ způsobený poklesem napětí na hladině vn o 900 V. Pokles byl naměřen na všech linkách napájejících MŽ síť a mohl být způsoben manipulacemi na rozvodně Šumperk nebo již na hladině 110kV. Na obrázku č. 25 je vlevo zobrazen diagram napětí vývodu vn MŽ sítě a v pravé části obrázku P_{st} měřené skříně R372. Čtvrteční hodnota P_{st} byla způsobena měřením se zátěžovou jednotkou.

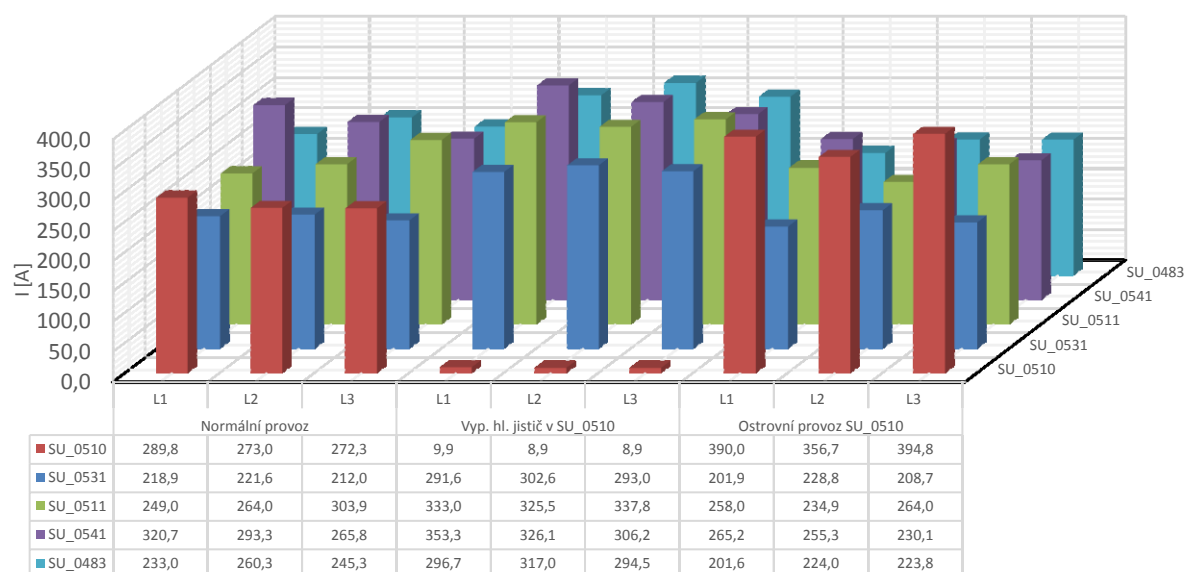


Obr. 25 - Diagram napětí vn a Pst - R372 směr: R322

Při vypnutí hl. jističi na SU_0510 ostatní trafostanice převzali její zatížení, což je patrné i na obrázku č. 26 a 27 měřených okolních DTS. Po zapnutí hl. jističe a vyčlenění trafostanice do ostrovního provozu došlo k navýšení maxim proudů u DTS_SU_0510 a u okolních trafostanic k poklesu, což znamená, že okolní DTS převzaly zátěž této trafostanice.

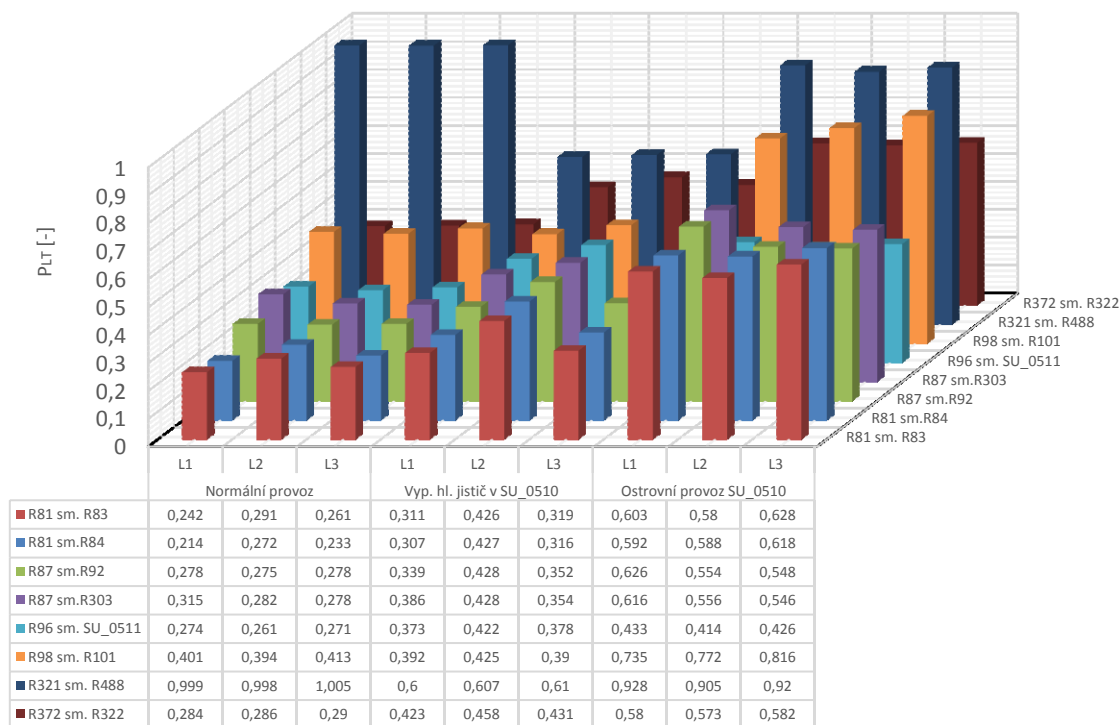


Obr. 26 - Činné výkony v měřených DTS



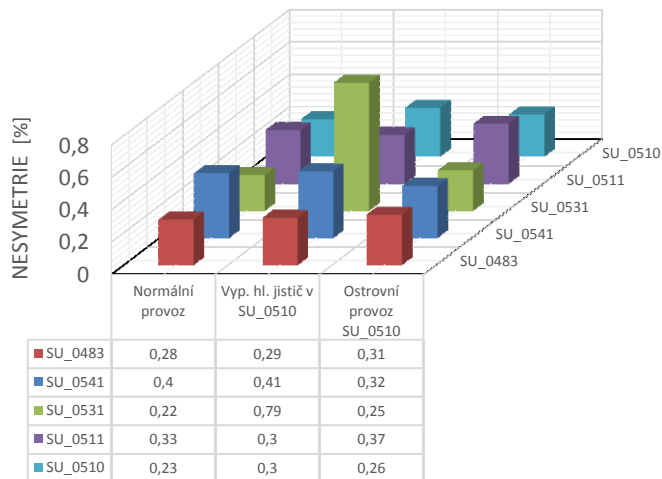
Obr. 27 - Maxima proudů v DTS

Na obrázku č. 28 jsou zobrazeny maximální naměřené hodnoty dlouhodobého vjemu flickru. Vysokých hodnot u rozpojovacích skříní R98, R321, R372 se podařilo dosáhnout díky zapojení zatěžovací jednotky Meg80/S, čímž se podařilo najít nejslabší místa v síti. Při vyřazení 5 % vzorků se u všech měření hodnoty P_{lt} pohybovaly na úrovni $P_{lt} \approx 0,2$. Zákazník tedy mohl pocítovat flickr jen v minimální míře.



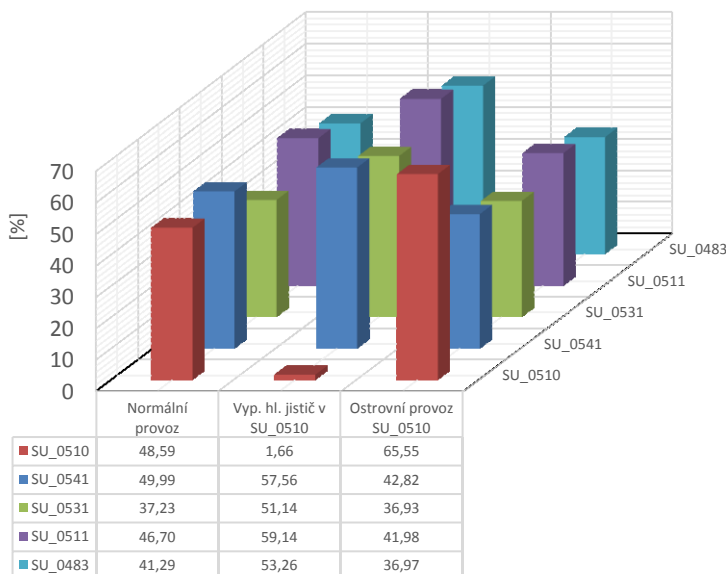
Obr. 28 - Hodnoty P_{lt} 100% vzorků, při různých provozních stavech v rozpojovacích skříních

Na obrázku č. 29 jsou zobrazeny maximální naměřené hodnoty 100 % nesymetrie jednotlivých trafostanic. Vyšší hodnota u DTS SU_0531 byla pravděpodobně způsobena zapnutím hlavního jističe po skončení její údržby, což je patrné i z průběhu na obrázku č. 18 v kapitole 5.2.4.



Obr. 29 - Maximální hodnoty nesymetrie v DTS

Mřížová síť je z pravidla osazena transformátory 400 kVA, výjimku tvoří asi jen dvě DTS osazené transformátory 630 kVA. Pro posouzení vytíženosti je tedy uvažován poměr: transformátor 400 kVA, k maximální naměřené hodnotě výkonu bez uvažování ztrát. Na obrázku č. 30 je patrné vyrovnané zatížení všech trafostanic. Po vypnutí hl. jističe v SU_0510 ostatní trafostanice převzaly její zátěž, což se na měřených DTS projevilo mírným nárůstem výkonu. Po převedení SU_0510 do ostrovního provozu se na ostatních DTS maximální zátěž snížila a na SU_0510 zvýšila na 65 %. Z těchto změn můžeme usoudit, že ostatní DTS v MŽ tento úsek sítě svým výkonem dotují.



Obr. 30 - Vytíženost transformátorů při změnách provozních stavů

Monitor PQ/30 po převedení do tabulkového procesoru neudává hodnoty zdánlivého výkonu, proto bylo nutné pro porovnání vytiženosti hodnoty dopočítat. Vyjdeme ze známého vztahu pro zdánlivý výkon:

$$S = U \cdot I \quad (5.25)$$

Jednotlivá naměřená fázová napětí a proudy je potřeba převést na sdružená:

$$U_s = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + U_3^2)} \quad a \quad I_s = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2)} \quad (5.26)$$

Dále dosazeno do vzorce:

$$S = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + U_3^2)} \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2)} \quad (5.27)$$

5.3.2. Měření impedance s umělou zátěží

V tabulce č. 8 jsou zobrazeny absolutní hodnoty naměřených impedancí v jednotlivých spojovacích skříních pomocí zatěžovací jednotky.

Tab. 8 - Naměřené hodnoty impedancí v jednotlivých skříních

Normální provoz					
Místo měření	ZL1 [Ohm]	ZL2 [Ohm]	ZL3 [Ohm]	ZN [Ohm]	Z [Ohm]
R87	0,0230	0,0204	0,0192	0,0053	0,0209
R98	0,0245	0,0175	0,0195	0,0331	0,0205
R96	0,0230	0,0213	0,0228	0,0201	0,0224
R372	0,0215	0,0207	0,0219	0,0212	0,0214
R321	0,0364	0,0373	0,0359	0,0388	0,0365
Vyp. hl. jistič v SU_0510					
R508	0,0715	0,0714	0,0743	0,0770	0,0724
R96	0,0305	0,0225	0,0245	0,0253	0,0259
R372	0,0223	0,0234	0,0265	0,0248	0,0241
R321	0,0406	0,0389	0,0401	0,0426	0,0399
R87	0,0182	0,0213	0,0213	0,0186	0,0203
R98	0,0250	0,0193	0,0218	0,0349	0,0220
R81	0,0127	0,0158	0,0144	0,0135	0,0143
Ostrovní provoz SU_0510					
R508	0,0704	0,0716	0,0746	0,0767	0,0722
R96	0,0376	0,0350	0,0372	0,0285	0,0366
R372	0,0420	0,0431	0,0470	0,0397	0,0440
R321	0,0658	0,0650	0,0674	0,0570	0,0660
R87	0,0353	0,0393	0,0438	0,0368	0,0394
R98	0,0460	0,0548	0,0557	0,0623	0,0522
R81	0,0425	0,0429	0,0438	0,0383	0,0431

Když známe absolutní hodnoty impedancí, je možné si odvodit úbytky napětí vyvolené jednotlivými zátěžemi. Vycházíme ze vzorce pro impedanci a činný výkon:

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi \quad (5.29)$$

$$Z = \frac{U}{I} \quad (5.28)$$

Uvažováno je jmenovité fázové napětí 230 V a $\cos \varphi = 1$. Následný vzorec pro vyhodnocení možného úbytků napětí na fázi pro tabulku č. 9:

$$\Delta U = \frac{P_{3f}}{3 \cdot U_f \cdot \cos \varphi} \cdot Z \quad (5.30)$$

Výsledná tabulka je rozdělena na část s úbytky napětí a na část odchylka od $U_n = 230V$ v procentech, kde pokles napětí pod 10 % je barevně zvýrazněn. Při normálním provozu a vypnutém hlavním jističi v SU_0510 by připojení dalších odběrů bylo možné, aniž by výsledná odchylka napětí převýšila normou povolené hodnoty. Při ostrovním provozu by pokles napětí pod 10 % jmenovité hodnoty byl vyvolán zatížením 250 kW ve skříních R321 a 350 kW ve skříně R98. Skříň R508 je umístěna na konci paprskového vedení. Zde by byla odchylka od U_n po připojení dalších odběrů nejvyšší.

Tab. 9 - Přepočtené hodnoty impedancí na možné úbytky napětí

Normální provoz										
P3f [kW]	20	50	100	250	350	20	50	100	250	350
Místo měření	ΔU_n [V]	ΔU_n [V]	ΔU_n [V]	ΔU_n [V]	ΔU_n [V]	ΔU_n [%]	ΔU_n [%]	ΔU_n [%]	ΔU_n [%]	ΔU_n [%]
R87	0,60	1,51	3,02	7,56	10,58	0,3	0,7	1,3	3,3	4,6
R98	0,60	1,49	2,98	7,44	10,41	0,3	0,6	1,3	3,2	4,5
R96	0,65	1,62	3,24	8,10	11,34	0,3	0,7	1,4	3,5	4,9
R372	0,62	1,55	3,10	7,74	10,84	0,3	0,7	1,3	3,4	4,7
R321	1,06	2,65	5,29	13,24	18,53	0,5	1,2	2,3	5,8	8,1
Vyp. hl. jistič v SU_0510										
R508	2,10	5,25	10,49	26,23	36,72	0,9	2,3	4,6	11,4	16,0
R96	0,75	1,87	3,75	9,37	13,11	0,3	0,8	1,6	4,1	5,7
R372	0,70	1,74	3,49	8,72	12,21	0,3	0,8	1,5	3,8	5,3
R321	1,16	2,89	5,78	14,44	20,22	0,5	1,3	2,5	6,3	8,8
R87	0,59	1,47	2,94	7,35	10,29	0,3	0,6	1,3	3,2	4,5
R98	0,64	1,60	3,19	7,98	11,18	0,3	0,7	1,4	3,5	4,9
R81	0,41	1,04	2,07	5,18	7,26	0,2	0,5	0,9	2,3	3,2
Ostrovní provoz SU_0510										
R508	2,09	5,23	10,46	26,15	36,61	0,9	2,3	4,5	11,4	15,9
R96	1,06	2,65	5,31	13,26	18,57	0,5	1,2	2,3	5,8	8,1
R372	1,28	3,19	6,38	15,95	22,33	0,6	1,4	2,8	6,9	9,7
R321	1,91	4,79	9,57	23,93	33,50	0,8	2,1	4,2	10,4	14,6
R87	1,14	2,86	5,72	14,29	20,00	0,5	1,2	2,5	6,2	8,7
R98	1,51	3,78	7,56	18,90	26,46	0,7	1,6	3,3	8,2	11,5
R81	1,25	3,12	6,24	15,60	21,84	0,5	1,4	2,7	6,8	9,5

6. Návrh optimalizace provozu

Mezi nejdůležitější ovládací prvky mřížové sítě patří směrová ochrana a opětovné zapnutí hlavního jističe v DTS, pokud není zajištěna jejich správná funkčnost může při poruchových stavech docházet k rozpadu mřížové sítě. Navržená opatření by mohla být prováděna při řádu preventivní údržby před uvedením trafostanice do beznapětového stavu.

6.1. Kontrola opětovného zapnutí hlavního jističe v DTS

V současné době jsou postupně dosluhující jističe AR a ARV nahrazovány jističi OEZ Modeion. Následující návod je platný pro obě varianty. Na obrázku č. 31 je zobrazen panel, který slouží pro ovládání hlavního jističe v DTS s motorovým pohonem. Trafostanice v mřížové síti jsou vybaveny funkcí opětovného zapnutí, aby při obnovení napájení po poruše došlo k zapnutí hlavního jističe v DTS. Postup pro ověření funkce je následující:

- kontrola nastavení hlavního jističe (klíček na jističi je přepnutý na automat),
- stisknutím tlačítka vypnout se rozsvítí červená signalizace porucha na obrázku č. 31 vpravo a jistič provedl vypnutí,
- po stisknutí tlačítka deblokace, systém opětovného zapnutí provede nahození jističe v nastaveném časovém intervalu,
- opětovné zapnutí je nastaveno na interval přibližně 20 s a mělo by provést zapnutí jističe,
- pokud nedojde k samočinnému zapnutí hlavního jističe je nutné stisknout tlačítko zapnout nebo nahodit jistič manuálně. Pokud je ovládání nefunkční musí obsluha u jističe AR pro sepnutí nastrádat energii natočením přiloženou klíčkou, u jističe Modeion černou páčkou na motorovém pohonu jističe a poté zapnout.

Nefunkční opětovné zapnutí jističe může znamenat buď nefunkční automatiku, nebo motorový pohon a je nutné provést opravu. [25]



Obr. 31 - Ovládací panel hl. jističe v DTS

6.2. Kontrola funkčnosti směrové ochrany mřížových sítí

Na obrázku č. 32 vlevo je zobrazena ochrana VS 31. Ochrana se skládá ze tří wattmetrických relé, z nichž každé měří směr toku výkonu v jedné fázi. Propojení svorek s písmeny nám určuje nastavení na vstupních transformátorech ochrany. Pro kontrolu funkčnosti je potřeba změna zapojení na svorkovnici a proto provádění kontroly při ŘPU bych nedoporučoval. V současnosti jsou směrové ochrany VS 31 postupně nahrazovány novějšími polovodičovými ochranami VS 300 X. Proto se následující postu bude týkat pouze ochrany VS 300 X na obrázku č. 32 vpravo:

- pro provedení kontroly funkce směrové ochrany, je nutné provést demontáž skleněného krytu zajištěného čtyřmi ručně odnímatelnými šrouby,
- poté obsluha současně stiskne dvě, nejlépe tři tlačítka S1, S2, S3, pro simulaci poruchy (z důvodu neznámého seřízení ochrany),
- ochrana provede vypnutí hlavního jističe a na panelu s červená indikátor signalizace poruchového stavu (obrázek č. 32 vpravo),
- časové relé opětovného zapnutí provede přibližně po 20 sekundách zapnutí hlavního jističe v DTS,
- stisknutím tlačítka reset nebo krátkým spojením svorek č. 7 a 8 vrátíme indikátor vybavení ochrany do výchozí polohy.



Obr. 32 - Směrová ochrana VS 300 X a VS 31

Pokud nedojde k vypnutí hlavního jističe, i když je signalizováno na ochraně, ochrana nevybavila. [9]

7. Závěr

Úvodní kapitola diplomové práce je věnována popisu elektrizační soustavy a rozboru sítí podle zapojení, kde převážná část je zaměřena na rozdíly mezi klasickou mřížovou sítí a zjednodušenou. V městských sítích se mohou vyskytovat kombinace obou zapojení, ale v zásadě je lze rozdělit podle počtu napáječů vn. Zjednodušená mřížová síť má zpravidla jeden napáječ vn a při jeho poruše dojde k přerušení napájení v celé síti. Oproti tomu mřížová síť se vyznačuje větší spolehlivostí dodávky, která je zajištěna alespoň třemi napáječi vn (při dvou by síť byla labilní). Při výpadku na vedení vn ostatní nepoškozená vedení přeberou zatížení a síť lze provozovat bez přerušení dodávky.

V kapitole Provozování distribuční soustavy jsou zjednodušeně popsány standardy a ukazatele nepřetržitosti elektrické energie doplněné o praktický popis provádění Řádu preventivní údržby v konkrétní mřížové síti. Na závěr této kapitoly jsem provedl analýzu poruch na kabelovém vedení vn, z které vyplývá, že díky mřížové konfiguraci sítě obyvatelé města během posledních 8 let byli celkově ušetřeni 14 hodinám výpadku elektrické energie.

Další část diplomové práce je věnována charakteristice napětí elektrické energie podle příslušných norem a u každého parametru jsou popsány konkrétní příklady a způsob vyhodnocení z vlastního měření. Celkem byla provedena tři týdenní měření kvality v pěti trafostanicích a šesti spojovacích skříních:

- za normálního provozního stavu,
- při vypnutí hlavního jističe v trafostanici doplněné o postupné vypínání trafostanic při ŘPU,
- dále při vyčlenění trafostanice do ostrovního provozu.

Porovnání jednotlivých provozních stavů je součástí celkového vyhodnocení naměřených dat. Naměřené hodnoty a jednotlivé průběhy jsou součástí přílohy. V každém měřeném týdnu bylo provedeno jedno měření impedance ve spojovacích skříních se zatěžovací jednotkou, která po dobu dvou period vyvolala zatížení 50 kW. Toto měření se projevilo i na hodnotách týdenních měření kvality a to hlavně flikru. Na základě naměřených hodnot jsem se pokusil predikovat možnosti připojení dalších odběrů, kdy bez výrazných poklesů napětí by bylo možné připojit odběry o příkonu 100 kW. Nejnáchylnější na připojení dalších zátěží byl provozní stav při vyčlenění trafostanice do ostrovního režimu. Během těchto měření nebyly překročeny parametry kvality elektrické energie stanovené normou ČSN EN 50 160 a to ani při uvažování 100 % vzorku což potvrzuje odolnost sítě.

Výsledkem této práce je popis chování mřížové sítě v měřené lokalitě a ověření možnosti provádění odstávek DTS bez omezení odběratelů, aniž by byly překročeny normou povolené charakteristiky napětí elektrické energie. Naměřená data, kdy byla v reálném provozu ověřena možnost připojení dalších odběratelů, mohou posloužit pracovníkům rozvoje sítí. V poslední kapitole jsem se pokusil navrhnout provozní opatření pro snížení rizika rozpadu mřížové sítě, která by nebyla pro pracovníka provádějícího údržbu časově náročná. Již nyní se v provozu pro udržení bezporuchového stavu osvědčila roční kontrola pojistek ve spojovacích skříních. Pokud by se podařilo výše uvedená opatření začlenit do revizního plánu, přispělo by to ke spolehlivému chodu sítě.

Vyšší náklady na provoz mřížové sítě by v budoucnu mohla snížit instalace dálkových měřících a indikačních přístrojů do spojovacích skříní a distribučních trafostanic, kdy odpadne nutnost kontroly stavu pojistek a hlavních jističů. Pracovník dispečinku by měl okamžitý přehled o stavu sítě a v případě vybavení některého jistícího prvku by vyslal poruchovou četou na konkrétní úsek sítě v poruše. Získaná data z dálkových měřících přístrojů by bylo možné využít i pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti, protože nyní lze omezení odběratelů odvodit pouze z nahlášených poruch odběratelem a následném vymezení postiženého úseku pracovníkem poruchové služby.

Použitá literatura

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [2] KREJČÍ, P. *Cvičení z elektroenergetiky*. skripta VŠB-TU Ostrava, 2003.
- [3] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0175-2.
- [4] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [5] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [6] PAVLOVSKÝ, Bohumír. *Elektrické sítě v městech a sídlištích: Určeno [též] stud. elektrotechn. fakult a žákům elektrotechn. prům. škol*. Praha: SNTL, 1975.
- [7] Postupný vývoj přenosové soustavy [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/Stranky/vyvojps.aspx>
- [8] Distribuční oblasti [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.elektrina.cz/distribuce-elektriny>
- [9] VS 300 X Směrová ochrana mřížových sítí [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-VS300X.pdf>
- [10] PQ monitor [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.e-mega.cz/doc/pqmonitor_mail.pdf
- [11] ČSN EN 50160. 3.: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] ČSN EN 61000-2-2: *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2-2: Prostředí - Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [13] ČSN EN 61000-4-30: *Zkušební a měřicí technika -Metody měření kvality energie*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [14] PNE_33-3430-7: *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*. 3. Praha: ČEZ Distribuce, E.ON ČR, E.ON Distribuce, PRE distribuce, ZSE, ČEPS, 2008.
- [15] MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s. [online]. [cit. 29.03.2017]. Dostupné z: <http://www.e-mega.cz/doc/cz/MEg38C.pdf>
- [16] PAAR, SOUČEK. *Závěrečná zpráva projektu: IE-12-8004880 Šumperk - analýza mřížové sítě NNk, E2*. Brno: MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, a.s., 2016.

- [17] TLUSTÝ, Josef. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [18] ČSN EN 61000-4-15 ed.2: *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-15: Zkušební a měřicí technika – Flickmetr – Specifikace funkce a dimenzování*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [19] Zákon č. 458/2000 Sb., *o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. 2000. ISSN 1211-1244.
- [20] Pravidla provozování distribučních soustav [cit. 24.03.2017]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2017.html>
- [21] ERÚ - Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2015. [cit. 24.03.2017]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/zpravy-o-kvalite>
- [22] PNE-33-0000-3: *Revize a kontroly elektrických zařízení přenosové a distribuční soustavy*. Praha: ČEZ Distribuce, E.ON ČR, E.ON Distribuce, PRE distribuce, ZSE, ČEPS, 2009.
- [23] Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb, in: *Zákon č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. 2005. ISSN 1211-1244.
- [24] ČSN EN 33 1500: *Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
- [25] MP BL X230, MP BL X110.pdf [cit. 12.04.2017]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/file/10>

Seznam příloh

Příloha A: Maxima, minima, průměr naměřených hodnot

Příloha na CD

Příloha B: Naměřené průběhy - Normální zapojení mřížové sítě

Příloha C: Naměřené průběhy - Vypnutý hlavní jistič v SU_0510, SU_0531, SU_0541

Příloha D: Naměřené průběhy - Ostrovní provoz SU_0510

Příloha A: Maxima, minima, průměr naměřených hodnot

Normální provoz																									
SU_0483																									
	U1	U2	U3	Pst L1	Pst L2	Pst L3	Pit L1	Pit L2	Pit L3	THDL1	THDL2	THDL3	Nesymetrie	I L1	I L2	I L3	P L1	P L2	P L3	P	QL1	QL2	QL3	Q	I-PEN
	[V]	[V]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[A]
Maximurn	243,60	243,34	243,96	0,26	0,25	0,29	0,20	0,13	0,14	1,99	1,82	2,07	0,28	232,95	260,25	245,25	55,82	61,50	58,05	164,02	5,60	5,31	4,81	13,10	65,55
Minimurn	236,00	235,73	236,62	0,04	0,04	0,03	0,06	0,06	0,06	0,97	0,98	1,07	0,03	107,10	110,25	98,55	25,43	26,20	23,34	75,89	-3,95	-4,17	-3,82	-9,39	14,55
Průměr	239,33	239,11	239,97	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	1,51	1,39	1,54	0,10	161,02	171,29	168,84	38,18	40,66	40,20	119,04	0,88	0,38	0,73	2,00	33,00
SU_0541																									
Maximurn	242,17	242,17	243,16	0,47	0,41	0,42	0,21	0,19	0,20	1,95	2,12	1,76	0,40	320,70	293,25	265,80	74,84	68,62	62,18	197,84	6,50	5,79	8,28	17,84	neměřeno
Minimurn	234,21	234,39	234,74	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,96	1,09	1,03	0,07	131,70	122,40	102,60	31,18	28,91	24,39	88,60	-1,42	-1,47	-0,58	-2,27	neměřeno
Průměr	238,04	238,23	238,91	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	1,50	1,60	1,38	0,24	205,12	199,03	178,48	48,49	47,00	42,21	137,70	1,17	1,66	2,93	5,76	neměřeno
SU_0531																									
Maximurn	242,62	243,25	242,53	0,22	0,29	0,25	0,12	0,14	0,13	1,88	2,02	1,72	0,22	218,85	221,55	211,95	52,29	52,29	50,04	148,24	0,50	2,38	0,94	1,14	63,75
Minimurn	235,10	235,91	234,92	0,04	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05	0,93	1,06	0,96	0,03	99,45	98,85	104,55	23,55	23,51	24,70	74,70	-3,73	-2,63	-3,55	-8,00	16,20
Průměr	238,56	239,32	238,37	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	1,44	1,53	1,32	0,09	153,01	158,19	153,08	36,23	37,59	36,23	110,06	-1,70	-0,18	-1,59	-3,47	35,72
SU_0511																									
Maximurn	242,80	242,53	242,44	0,22	0,28	0,24	0,13	0,14	0,13	1,99	2,04	1,82	0,33	249,00	264,00	303,90	58,31	62,41	71,23	184,86	10,39	5,36	10,75	25,02	77,25
Minimurn	234,74	235,37	234,83	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,95	1,06	0,99	0,03	113,25	118,35	132,60	26,87	28,10	31,29	90,73	-0,22	-2,39	0,89	1,02	16,80
Průměr	238,33	238,70	238,30	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	1,50	1,54	1,41	0,11	167,54	182,31	193,25	39,46	43,23	45,46	128,15	3,74	1,65	5,56	10,95	39,66
SU_0510																									
Maximurn	242,53	242,17	243,16	0,21	0,25	0,28	0,12	0,13	0,14	1,97	1,79	2,04	0,23	289,80	273,00	272,25	68,09	64,40	64,39	193,08	8,15	4,07	8,94	19,27	75,60
Minimurn	234,92	234,65	235,73	0,04	0,04	0,03	0,06	0,06	0,05	0,99	0,98	1,09	0,03	136,05	124,05	112,80	32,41	29,35	26,70	91,00	-0,91	-2,19	-0,54	-1,83	20,25
Průměr	238,34	238,09	239,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,50	1,37	1,56	0,09	206,56	187,39	191,14	48,83	44,35	45,23	138,41	3,13	0,73	3,34	7,20	42,22
R81 sm. R83																									
Maximurn	241,46	242,62	241,72	0,40	0,57	0,45	0,24	0,29	0,26	2,08	2,16	1,91	0,29	43,05	34,95	24,30	0,59	0,81	0,59	1,09	0,61	0,44	0,65	1,11	neměřeno
Minimurn	233,31	234,56	233,49	0,07	0,07	0,06	0,10	0,09	0,10	1,02	1,18	1,12	0,04	0,00	0,00	0,00	-10,09	-8,07	-5,58	-18,20	-1,36	-1,90	-2,49	-5,10	neměřeno
Průměr	237,23	238,47	237,54	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	1,62	1,67	1,52	0,13	15,98	9,20	4,80	-3,72	-2,19	-1,17	-7,07	-0,22	-0,33	-0,07	-0,61	neměřeno
R81 sm. R84																									
Maximurn	241,28	241,55	242,26	0,40	0,56	0,44	0,21	0,27	0,23	2,08	2,17	1,91	0,40	59,25	17,10	13,80	6,67	3,86	3,15	12,30	2,41	1,53	1,38	4,67	neměřeno
Minimurn	233,13	233,58	233,94	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	1,01	1,18	1,12	0,08	0,00	0,00	0,00	-13,17	-3,63	-2,54	-16,78	-5,27	-1,68	-1,11	-7,22	neměřeno
Průměr	237,04	237,42	237,94	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,62	1,67	1,52	0,25	16,19	5,13	4,00	-1,26	0,37	0,61	-0,27	-1,22	-0,27	0,23	-1,26	neměřeno
R87 sm. R92																									
Maximurn	241,28	241,46	242,35	0,44	0,51	0,50	0,28	0,28	0,28	2,20	1,98	2,15	0,64	0,00	42,90	40,95	0,14	5,14	4,30	9,35	-0,04	0,48	4,84	2,31	neměřeno
Minimurn	231,61	233,58	234,56	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	1,11	1,03	1,13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	-9,61	-8,74	-17,68	-0,10	-3,88	-2,46	-3,86	neměřeno
Průměr	236,40	237,25	238,11	0,13	0,09	0,09	0,15	0,10	0,09	1,66	1,52	1,65	0,15	0,00	14,01	11,26	0,12	-1,64	-0,45	-1,97	-0,09	-1,29	0,70	-0,68	neměřeno
R87 sm. R303																									
Maximurn	242,71	241,99	241,72	0,57	0,51	0,49	0,32	0,28	0,28	2,00	1,98	2,15	0,41	21,75	25,50	20,10	4,88	5,71	4,65	12,72	1,43	2,19	1,35	3,84	neměřeno
Minimurn	234,56	234,12	233,85	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	1,05	1,02	1,13	0,11	0,00	0,00	0,00	-2,31	-2,45	-3,38	-5,88	-2,02	-1,03	-0,88	-2,57	neměřeno
Průměr	238,40	237,80	237,46	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	1,54	1,52	1,65	0,24	9,79	11,15	7,64	2,14	2,44	1,56	6,14	-0,28	0,30	0,24	0,26	neměřeno
R96 sm. SU_0511																									
Maximurn	242,44	242,62	242,89	0,60	0,57	0,60	0,27	0,26	0,27	2,06	1,94	2,15	0,34	14,25	22,50	19,35	2,64	5,27	2,82	9,62	1,03	1,43	0,45	2,02	neměřeno
Minimurn	234,48	234,83	234,39	0,05	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	1,03	1,02	1,14	0,05	0,00	0,00	0,00	-3,29	-3,49	-4,51	-9,66	-0,91	-0,30	-1,47	-2,21	neměřeno
Průměr	238,32	238,42	238,20	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	1,57	1,48	1,65	0,17	2,77	8,90	5,52	0,21	1,56	0,47	2,25	0,06	0,56	-0,64	-0,01	neměřeno
R98 sm. R101																									
Maximurn	242,53	242,53	239,67	0,91	0,89	0,94	0,40	0,39	0,41	2,05	2,17	2,07	0,56	58,35	51,75	94,20	3,81	4,50	3,41	9,11	1,38	7,05	2,16	6,90	neměřeno
Minimurn	233,31	234,30	230,90	0,06	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	1,00	1,11	1,12	0,09	0,00	0,00	0,00	-13,62	-10,43	-21,72	-43,66	-3,00	0,10	-0,73	-0,12	neměřeno
Průměr	237,33	238,06	235,17	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	1,59	1,66	1,60	0,22	15,69	17,81	19,19	-3,27	-2,28	-3,85	-9,40	-0,51	2,47	0,54	2,50	neměřeno
R321 sm. R488																									
Maximurn	242,71	242,89	242,08	1,75	1,74	1,75	1,00	1,00	1,01	2,10	2,14	1,96	0,31	26,70	21,75	21,15	6,23	3,57	4,87	13,90	1,54	1,73	1,14	3,77	neměřeno
Minimurn	234,21	233,67	234,03	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	1,03	1,12	1,12	0,03	0,00	0,00	0,00	-3,00	-5,13	-3,53	-11,07	-0,32	-0,04	-0,37	-0,44	neměřeno
Průměr	238,01	238,38	237,59	0,11	0,10	0,12	0,12	0,12	0,13	1,60	1,62	1,56	0,11	5,34	6,93	5,54	0,02	-0,74	0,21	-0,51	0,49	0,60	0,41	1,50	neměřeno
R372 sm. R322																									
Maximurn	241,81	241,10	241,63	0,60	0,61	0,62	0,28	0,29	0,29	2,10	2,19	1,96	0,31	30,60	31,65	35,40	6,74	7,22	7,97	19,00	4,37	2,64	3,66	9,88	neměřeno
Minimurn	233,94	233,31	233,49	0,05	0,05	0,04	0,07	0,07	0,07	1,03	1,15	1,12	0,04	6,00	0,00	4,50	-3,04	-3,42	0,03	-6,17	0,66	-0,63	-0,18	0,81	neměřeno
Průměr	237,38	236,98	237,32	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,61	1,64	1,57	0,17	14,82	10,87	16,90	2,06	2,07	3,49	6,62	2,32	0,59	1,59	4,49	neměřeno

Vyp. hl. jističů v SU_0510																										
SU_0483																										
	U1	U2	U3	Pst L1	Pst L2	Pst L3	Pst L1	Pst L2	Pst L3	THDL1	THDL2	THDL3	Nesymetrie	I L1	I L2	I L3	P L1	P L2	P L3	P	Q L1	Q L2	Q L3	Q	I-PEN	
	[V]	[V]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[A]	
Maximurn	243,34	243,16	244,23	0,61	0,64	0,98	0,30	0,31	0,43	1,89	1,68	1,88	0,29	296,70	316,95	294,45	70,99	75,76	70,30	212,13	9,11	7,26	7,35	21,55	71,25	
Minimurn	235,37	235,19	236,44	0,04	0,04	0,03	0,08	0,08	0,08	1,03	1,01	1,08	0,04	134,55	133,80	135,30	31,99	31,84	32,37	100,97	-1,83	-1,76	-2,63	-5,68	19,95	
Průměr	239,57	239,35	240,36	0,11	0,11	0,10	0,12	0,12	0,11	1,47	1,37	1,49	0,13	217,80	225,02	217,39	51,73	53,50	51,89	157,13	2,78	2,36	1,84	6,98	38,98	
SU_0541																										
Maximurn	242,08	242,80	243,16	0,60	0,94	0,62	0,30	0,42	0,31	2,54	2,43	2,32	0,41	353,25	326,10	306,15	82,90	76,62	72,81	228,84	7,89	12,40	9,14	23,60	neměřeno	
Minimurn	227,67	230,45	228,57	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,96	1,11	0,91	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	-0,01	0,15	0,21	-0,21	-0,44	0,08	-0,01	neměřeno	
Průměr	238,03	238,53	239,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	1,46	1,55	1,36	0,26	244,13	225,35	206,08	57,73	53,32	48,80	159,86	3,37	2,79	4,10	10,26	neměřeno	
SU_0531																										
Maximurn	242,53	243,78	242,44	0,61	0,97	0,64	0,30	0,43	0,31	2,14	2,18	2,03	0,79	291,60	302,55	292,95	68,64	70,93	68,70	202,03	20,24	10,81	9,55	27,63	77,25	
Minimurn	233,85	235,10	233,76	0,04	0,03	0,03	0,08	0,07	0,08	0,94	1,03	0,93	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	-0,01	0,22	0,33	-1,94	-21,36	-1,92	-2,89	0,00	
Průměr	238,63	239,50	238,60	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	1,39	1,46	1,29	0,12	189,50	191,01	182,68	44,92	45,32	43,33	133,57	0,64	2,67	0,56	3,87	42,58	
SU_0511																										
Maximurn	242,26	242,89	242,26	0,61	0,97	0,64	0,30	0,43	0,31	1,83	1,86	1,73	0,30	333,00	325,50	337,80	78,22	77,19	79,58	233,51	13,32	13,75	14,54	37,60	88,50	
Minimurn	234,03	235,10	234,30	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	1,01	1,07	1,04	0,04	145,35	155,55	148,05	34,30	37,01	34,97	111,32	2,82	1,73	3,64	10,42	22,05	
Průměr	238,30	238,90	238,38	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	1,46	1,48	1,40	0,14	226,17	233,66	243,73	53,08	55,24	57,11	165,43	7,38	5,78	9,05	22,20	46,48	
SU_0510																										
Maximurn	240,92	240,02	242,35	0,61	0,64	0,96	0,31	0,32	0,43	2,31	2,17	2,25	0,30	9,90	8,85	8,85	-0,04	0,08	-0,12	-0,08	-2,19	-1,95	-1,95	-6,10	neměřeno	
Minimurn	230,00	230,54	232,69	0,06	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	1,20	1,25	1,24	0,04	9,60	8,40	8,40	-0,10	0,01	-0,18	-0,25	-2,35	-2,09	-2,10	-6,53	neměřeno	
Průměr	235,96	235,73	237,21	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	1,80	1,75	1,80	0,13	9,69	8,70	8,70	-0,06	0,06	-0,15	-0,15	-2,27	-2,02	-2,03	-6,32	neměřeno	
R81 sm. R83																										
Maximurn	241,01	243,34	241,46	0,61	0,96	0,64	0,31	0,43	0,32	2,34	2,19	2,07	0,33	60,75	56,25	37,65	-3,41	-1,49	-0,44	-7,52	0,06	0,22	0,73	0,44	neměřeno	
Minimurn	228,75	232,06	229,37	0,08	0,08	0,08	0,12	0,12	0,12	1,09	1,17	1,14	0,05	15,15	6,00	0,00	-14,09	-13,33	-8,70	-33,07	-2,52	-1,76	-2,35	-5,54	neměřeno	
Průměr	236,61	238,28	237,20	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	1,65	1,71	1,60	0,16	15,04	35,04	24,08	-21,27	-8,08	-5,61	-4,94	-18,63	-1,06	-0,47	-0,17	-1,70	neměřeno
R81 sm. R84																										
Maximurn	240,83	242,08	241,72	0,61	0,96	0,64	0,31	0,43	0,32	2,34	2,19	2,07	0,49	136,50	51,60	39,60	5,24	2,25	2,28	9,46	-0,48	-0,06	0,30	-1,16	neměřeno	
Minimurn	228,57	231,07	229,82	0,05	0,04	0,05	0,10	0,09	0,09	1,09	1,17	1,13	0,07	14,40	5,10	0,00	-31,30	-11,86	-9,11	-46,60	-9,16	-2,89	-2,49	-14,06	neměřeno	
Průměr	236,39	237,20	237,56	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	1,65	1,71	1,60	0,26	74,54	24,17	21,00	-16,84	-5,38	-4,74	-26,97	-3,27	-1,34	-0,82	-5,43	neměřeno	
R87 sm. R92																										
Maximurn	241,19	241,81	241,55	0,64	0,96	0,75	0,34	0,43	0,35	2,15	2,11	2,27	0,51	51,60	57,00	49,50	0,83	8,73	9,10	17,05	1,66	1,66	5,61	1,82	neměřeno	
Minimurn	231,70	231,79	231,07	0,05	0,04	0,05	0,09	0,09	0,09	1,23	1,07	1,17	0,04	2,70	0,00	0,00	-12,10	-12,65	-10,63	-22,71	-1,60	-5,07	-4,65	-4,01	neměřeno	
Průměr	236,23	236,71	237,24	0,16	0,12	0,12	0,17	0,13	0,13	1,73	1,60	1,72	0,16	24,31	23,15	18,23	-5,64	-4,19	-3,11	-7,20	0,17	-1,95	1,05	-0,97	neměřeno	
R87 sm. R303																										
Maximurn	242,17	242,35	240,83	0,84	0,96	0,76	0,39	0,43	0,35	2,19	2,11	2,26	0,50	51,60	52,35	57,90	0,83	0,41	-0,25	0,56	1,66	2,85	0,47	3,38	neměřeno	
Minimurn	231,34	232,24	230,27	0,04	0,04	0,05	0,09	0,09	0,09	1,17	1,05	1,18	0,06	2,70	0,00	0,00	-12,10	-12,07	-13,46	-34,19	-1,60	-1,36	-2,20	-3,38	neměřeno	
Průměr	237,96	237,14	236,52	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	1,63	1,60	1,72	0,28	24,31	14,84	23,71	-5,64	-3,29	-5,47	-14,40	0,17	0,80	-0,53	0,44	neměřeno	
R96 sm. SU_0511																										
Maximurn	241,46	242,44	241,81	0,77	0,95	0,79	0,37	0,42	0,38	2,18	1,99	2,26	0,41	52,65	74,40	64,95	12,37	17,32	15,00	43,04	1,73	3,52	0,87	4,95	neměřeno	
Minimurn	232,60	233,49	231,79	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	1,24	1,09	1,24	0,10	10,95	14,25	8,70	2,25	2,82	1,84	7,49	-0,36	0,81	-1,31	0,50	neměřeno	
Průměr	237,16	237,55	237,01	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	1,75	1,61	1,78	0,23	31,74	40,09	36,51	7,32	9,16	8,45	24,94	0,70	1,78	-0,10	2,37	neměřeno	
R98 sm. R101																										
Maximurn	241,46	242,35	240,02	0,86	0,96	0,86	0,39	0,43	0,39	2,08	2,13	2,06	0,46	85,80	85,95	117,30	-3,34	-1,07	-1,07	-8,01	2,09	5,43	1,46	4,08	neměřeno	
Minimurn	231,61	233,04	230,09	0,06	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	1,08	1,15	1,17	0,07	14,70	6,00	5,10	-20,18	-19,99	-27,45	-67,49	-3,33	-3,46	-1,28	-3,45	neměřeno	
Průměr	236,81	237,56	234,98	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	1,61	1,69	1,66	0,22	44,06	40,32	39,97	-10,25	-9,29	-9,21	-28,74	-0,57	1,00	0,23	0,67	neměřeno	
R321 sm. R488																										
Maximurn	241,72	242,89	241,10	1,35	1,37	1,37	0,60	0,61	0,61	2,19	2,17	2,14	0,30	42,60	48,15	45,60	0,76	0,00	0,70	-1,11	1,39	1,51	0,92	2,93	neměřeno	
Minimurn	232,15	233,31	232,15	0,05	0,05	0,06	0,11	0,10	0,11	1,16	1,18	1,27	0,05	0,30	0,30	0,00	-9,87	-11,29	-10,68	-29,05	-0,83	-0,51	-0,96	-1,62	neměřeno	
Průměr	236,91	237,73	236,64	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	1,73	1,74	1,73	0,14	19,61	22,85	20,95	-4,55	-5,29	-4,81	-14,65	0,24	0,47	0,18	0,89	neměřeno	
R372 sm. R322																										
Maximurn	240,74	240,92	240,56	0,90	0,96	0,92	0,42	0,46	0,43	2,20	2,18	2,16	0,36	66,60	65,10	61,05	-2,86	-2,36	-2,31	-9,73	2,17	0,37	0,99	1,16	neměřeno	
Minimurn	231,22	232,42	231,79	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	1,13	1,21	1,26	0,05	12,90	10,80	10,05	-15,59	-15,18	-14,09	-42,13	-1,92	-2,50	-2,67	-6,16	neměřeno	
Průměr	236,16	236,60	236,33	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	1,72	1,75	1,73	0,17	35,20	30,00	27,97	-8,13	-6,87	-6,46	-21,47	-3,34	-1,04	-0,58	-1,96	neměřeno	

Ostrovni provoz SU_0510																										
SU_0483																										
	U1	U2	U3	Pst L1	Pst L2	Pst L3	Pst L4	Pst L5	Pst L6	THDL1	THDL2	THDL3	Nesymetrie	I L1	I L2	I L3	P L1	P L2	P L3	P	Q L1	Q L2	Q L3	Q	I-PEN	
	[V]	[V]	[V]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[kVar]	[A]	
Maximurn	243,60	243,51	244,32	0,43	0,41	0,70	0,22	0,23	0,31	1,80	1,59	1,72	0,31	201,60	223,95	223,80	48,17	52,57	52,98	146,37	7,56	7,34	7,90	20,89	62,10	
Minimurn	235,64	235,64	236,80	0,04	0,04	0,03	0,08	0,08	0,08	1,02	0,92	1,08	0,03	88,95	80,40	90,90	21,05	18,96	21,60	62,57	-3,57	-3,08	-2,74	-8,62	13,95	
Průměr	239,26	238,96	240,03	0,10	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	1,43	1,31	1,42	0,11	145,35	150,99	146,72	34,26	35,61	34,79	104,66	2,00	2,14	1,64	5,78	32,62	
SU_0541																										
Maximurn	242,80	242,89	243,69	0,41	0,69	0,39	0,19	0,31	0,19	1,81	1,93	1,55	0,32	265,20	255,30	230,10	62,13	59,66	54,04	169,95	3,73	3,56	5,13	9,27	92,85	
Minimurn	234,74	235,01	235,46	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,88	1,03	0,86	0,06	108,15	99,60	82,35	25,55	23,36	19,53	71,63	-3,23	-3,20	-0,91	-6,43	31,05	
Průměr	238,41	238,66	239,17	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	1,36	1,47	1,25	0,20	174,33	171,32	150,90	41,22	40,44	35,70	117,35	-0,20	0,07	1,46	1,32	54,09	
SU_0531																										
Maximurn	242,89	243,69	242,80	0,42	0,69	0,39	0,19	0,31	0,20	1,73	1,78	1,55	0,25	201,90	228,75	208,65	48,31	54,74	49,80	146,66	3,38	4,95	2,65	10,04	82,80	
Minimurn	235,10	235,73	234,83	0,04	0,03	0,03	0,07	0,07	0,07	0,93	1,08	0,90	0,03	79,20	87,60	88,20	18,71	20,74	20,80	65,01	-3,77	-1,46	-2,67	-6,09	16,95	
Průměr	238,59	239,33	238,34	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	1,33	1,44	1,23	0,11	135,46	150,73	144,70	32,04	35,73	34,23	102,01	-0,76	0,97	-0,28	-0,07	41,39	
SU_0511																										
Maximurn	242,62	243,07	242,71	0,42	0,69	0,40	0,21	0,31	0,21	1,79	1,69	1,62	0,37	258,00	234,90	264,00	59,19	56,24	60,87	163,16	12,77	7,70	13,51	30,43	85,35	
Minimurn	234,39	235,46	234,48	0,05	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,98	1,07	0,93	0,04	91,95	85,20	89,85	21,73	20,18	21,00	63,77	0,77	-1,11	1,33	2,57	16,50	
Průměr	238,11	238,86	238,27	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	1,41	1,41	1,33	0,14	157,50	154,92	168,43	36,76	36,64	39,30	112,70	5,26	2,28	6,26	13,80	40,82	
SU_0510																										
Maximurn	243,07	242,98	243,69	0,42	0,39	0,69	0,19	0,20	0,31	2,01	1,78	2,04	0,26	390,00	356,70	394,80	91,83	83,98	92,65	260,55	5,72	4,52	10,59	18,85	113,55	
Minimurn	235,01	234,65	235,55	0,04	0,04	0,03	0,08	0,08	0,07	1,09	0,98	1,14	0,03	114,15	93,00	92,55	26,65	21,43	21,46	72,36	-4,91	-5,99	-1,27	-9,91	23,25	
Průměr	238,43	238,12	239,02	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	1,59	1,41	1,62	0,11	226,22	194,86	213,54	53,41	45,93	50,44	149,77	-0,88	-1,67	3,00	0,45	51,44	
R81 sm. R83																										
Maximurn	241,90	244,05	243,07	1,22	1,13	1,24	0,60	0,58	0,63	2,43	2,23	2,11	0,44	35,40	28,50	13,50	1,29	1,27	2,85	4,69	0,96	0,15	0,30	0,85	neměřeno	
Minimurn	231,16	232,69	232,51	0,10	0,11	0,09	0,14	0,14	0,14	1,23	1,24	1,16	0,05	0,00	0,00	0,00	-8,07	-6,60	-3,12	-13,69	-0,70	-1,25	-1,64	-2,89	neměřeno	
Průměr	236,87	238,16	237,10	0,23	0,23	0,21	0,23	0,23	0,22	1,87	1,82	1,69	0,16	11,07	8,97	3,31	-2,55	-2,06	0,25	-4,36	0,17	-0,35	-0,14	-0,32	neměřeno	
R81 sm. R84																										
Maximurn	241,63	242,89	243,42	1,21	1,18	1,23	0,59	0,59	0,62	2,43	2,23	2,10	0,54	53,55	17,40	24,75	12,34	4,12	5,75	21,39	2,27	0,58	1,16	3,00	neměřeno	
Minimurn	230,90	231,61	232,95	0,07	0,07	0,07	0,11	0,12	0,11	1,23	1,24	1,16	0,05	0,00	0,00	0,00	-3,40	-2,25	-1,09	-4,52	-2,31	-1,09	-0,72	-2,90	neměřeno	
Průměr	236,59	237,09	237,45	0,18	0,18	0,16	0,19	0,19	0,17	1,86	1,82	1,69	0,24	17,17	5,67	8,96	3,23	1,23	2,13	6,59	0,22	-0,24	0,09	0,07	neměřeno	
R87 sm. R92																										
Maximurn	243,78	242,62	242,98	1,23	1,09	1,06	0,63	0,55	0,55	2,16	2,08	2,40	0,44	90,45	51,75	46,65	-0,32	3,26	4,34	3,26	1,42	4,45	0,63	4,39	neměřeno	
Minimurn	233,40	231,70	232,77	0,05	0,05	0,06	0,10	0,10	0,10	1,15	1,10	1,32	0,05	0,00	0,00	0,00	-21,09	-11,56	-10,56	-42,06	-0,69	0,40	-2,68	-0,78	neměřeno	
Průměr	237,72	236,92	237,81	0,16	0,15	0,15	0,17	0,17	0,16	1,71	1,68	1,87	0,20	28,18	14,71	12,84	-6,57	-1,87	-1,35	-9,79	0,33	1,85	-0,66	1,52	neměřeno	
R87 sm. R303																										
Maximurn	243,60	243,16	242,17	1,20	1,10	1,06	0,62	0,56	0,55	2,17	2,07	2,37	0,45	64,05	49,20	43,50	15,07	11,38	10,17	35,64	0,83	0,21	1,22	0,91	neměřeno	
Minimurn	233,31	232,24	232,06	0,06	0,05	0,06	0,10	0,10	0,10	1,15	1,09	1,33	0,06	0,00	0,00	0,90	0,39	-0,22	0,43	1,35	-1,44	-2,52	-0,58	-2,94	neměřeno	
Průměr	237,63	237,49	237,07	0,16	0,15	0,15	0,17	0,16	0,16	1,71	1,68	1,87	0,21	25,66	18,88	16,65	5,94	4,33	3,82	14,09	-0,46	-0,79	0,22	-1,03	neměřeno	
R96 sm. SU_0511																										
Maximurn	243,87	243,42	243,25	0,89	0,85	0,88	0,43	0,41	0,43	2,06	2,05	2,22	0,41	0,00	0,00	0,00	0,08	0,19	-0,01	0,26	-0,10	0,10	0,04	0,04	neměřeno	
Minimurn	234,56	234,03	233,76	0,05	0,05	0,06	0,09	0,09	0,09	1,08	1,04	1,25	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06	0,11	-0,06	0,12	-0,15	0,07	0,00	-0,07	neměřeno	
Průměr	238,47	238,24	238,25	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	1,62	1,63	1,76	0,18	0,00	0,00	0,00	0,08	0,14	-0,02	0,19	-0,12	0,08	0,01	-0,03	neměřeno	
R98 sm. R101																										
Maximurn	242,53	243,42	241,37	1,64	1,73	1,82	0,74	0,77	0,82	2,36	2,34	2,19	0,39	40,20	20,85	50,55	9,24	4,62	11,59	23,77	0,44	0,81	0,61	0,62	neměřeno	
Minimurn	231,88	232,95	230,09	0,07	0,06	0,05	0,12	0,11	0,11	1,20	1,22	1,16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,25	0,10	0,39	1,11	-0,67	-0,40	-0,74	-1,65	neměřeno	
Průměr	237,08	237,77	235,47	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	1,82	1,84	1,75	0,15	7,50	3,06	8,85	1,79	0,99	2,17	4,95	-0,24	0,02	-0,18	-0,40	neměřeno	
R321 sm. R488																										
Maximurn	242,62	243,87	243,07	2,10	2,04	2,08	0,93	0,91	0,92	2,19	2,28	2,13	0,35	25,65	20,55	27,75	5,87	4,87	6,43	12,00	0,54	0,96	0,45	1,57	neměřeno	
Minimurn	233,04	232,60	232,51	0,05	0,05	0,06	0,10	0,10	0,11	1,14	1,18	1,14	0,04	0,00	0,00	0,00	0,23	0,08	0,48	0,98	-0,56	-0,10	-0,67	-0,89	neměřeno	
Průměr	238,08	238,22	237,45	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	1,70	1,76	1,67	0,14	5,17	2,00	7,29	1,40	0,70	1,77	3,87	-0,19	0,13	-0,20	-0,25	neměřeno	
R372 sm. R322																										
Maximurn	242,62	242,08	243,07	1,27	1,26	1,28	0,58	0,57	0,58	2,15	2,18	1,97	0,46	22,95	18,15	20,40	5,33	4,01	4,70	10,27	0,89	0,94	0,84	1,44	neměřeno	
Minimurn	233,40	233,31	234,03	0,06	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	1,13	1,18	1,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,18	0,23	0,45	0,96	-0,26	-0,18	-0,19	-0,37	neměřeno	
Průměr	237,70	237,19	237,72	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	1,68	1,75	1,58	0,23	2,58	2,85	3,15	0,86	0,96	1,02	2,84	-0,09	0,10	0,10	0,11	neměřeno	